

DIE

PHYSIOLOGISCHE OPTIK.

Druck und Papier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

DIE

PHYSIOLOGISCHE OPTIK.

EINE DARSTELLUNG

DER

GESETZE DES AUGES.

VON

Dr. HERMANN SCHEFFLER.

IN ZWEI THEILEN.

ERSTER THEIL.

MIT 226, IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,

SCHULBUCHHANDLUNG.

1864.

Inhalt.

Erster Theil.

---

§. 1.

Einleitung.

Die physiologischen und optischen Gesetze des Sehens, d. h. die Prinzipien, nach welchen sich das Bild eines äusseren Gegenstandes in unserem Auge bildet und zum geistigen Bewusstsein gelangt, scheinen in mehrfacher Hinsicht noch nicht genügend entwickelt zu sein. Es giebt eine grosse Menge von Erscheinungen, welche in den bisherigen Annahmen keine vollständige und zutreffende Erläuterung finden. Ich erlaube mir beispielsweise einige derselben anzuführen.

1. Obgleich wir den Mond oder die Sonne zu allen Zeiten fast genau unter demselben Gesichtswinkel sehen; so erscheint uns dieses Gestirn doch zu manchen Zeiten, namentlich häufig beim Auf- oder Untergange viel grösser, ja wohl doppelt so gross, als zu anderen Zeiten. Diese Erscheinung ist durchaus nicht erklärt.

Auch ein dunkeler Thurmknopf erscheint in der Höhe der Thurmspitze kleiner, als bei gleicher Entfernung in horizontaler Linie, und ein Luftballon vergrössert sich auffallend beim Herabfallen, wiewohl doch in diesen beiden Fällen der Weg der Lichtstrahlen durch die atmosphärische Luft oder durch irgendwelche Dünste immer nahezu sich gleich bleibt.

Ebenso erscheinen im Nebel die Gegenstände häufig grösser, was namentlich den Jägern wohl bekannt ist.

2. Man hört im täglichen Leben zuweilen auf die Frage, wie gross der Mond sei, die Antwort ertheilen: wie ein Menschenkopf. Niemand wird die Grösse des Mondes mit der eines Katzenkopfes vergleichen: Jedermann hält den letzteren Kopf für viel zu klein und den ersteren für ein passendes Vergleichungsobjekt. Ebenso wird Jeder geneigt sein, die Grösse des Mondes mit der eines Kürbisses, nicht aber mit der eines Apfels zu vergleichen, während doch, wenn hierbei lediglich der Sehwinkel entschiede, ein Katzenkopf oder ein Apfel in näherer Entfernung ebenso gross erscheinen würde, als ein Menschenkopf oder ein Kürbiss in weiterer Entfernung, ja überhaupt der Mond mit gar keinem Objekte unserer Umgebung hinsichtlich der Grösse verglichen werden könnte, wenn dabei nicht eine ganz bestimmte Entfernung ausbedun-

gen würde, welche Niemand, der die obige Antwort giebt, der Erwähnung nöthig hält.

Diese Thatsache erfordert eine Erklärung, ebenso wie die folgende.

3. Je weiter sich ein Gegenstand von uns entfernt, desto kleiner erscheint uns derselbe allerdings, aber bei weitem nicht in dem Masse, wie der Gesichtswinkel oder das Bild auf der Netzhaut sich verkleinert.

Man vergegenwärtige sich die Grösse eines Menschen von mittlerer Grösse zu 5 Fuss, welcher in einer Entfernung von 4 Fuss vor uns steht. Wenn wir diesen Menschen in einer Entfernung von 400 Fuss erblicken; so wird er keinenfalls auf uns den Eindruck eines menschlichen Wesens machen, welches sich in der ersteren Entfernung von 4 Fuss von uns befände und nur $^5/_{100}$ Fuss $=$ $^3/_5$ Zoll gross wäre; er wird uns vielmehr viel grösser erscheinen.

4. Beim Sehen in verschiedene Entfernungen akkommodirt sich das Auge an die Entfernung, weil sonst kein deutliches Sehen möglich wäre. Wie geht es nun aber zu, dass wir körperliche Gegenstände sehen, dass wir beim Blicke in die Natur ein unser ganzes Auge füllendes Bild von Gegenständen empfangen können, deren einzelne Punkte in den verschiedensten Entfernungen liegen? Wenn hierbei auch nicht jeder Punkt mit gleicher Deutlichkeit gesehen wird; so ist der ganze Eindruck doch weit davon entfernt, ein undeutlicher zu sein; und in allen Fällen, gleichviel ob deutlich oder nicht deutlich, unterscheiden wir an jenem Bilde die Verschiedenheit der Entfernung der einzelnen Punkte oder die Räumlichkeit, was doch nicht möglich wäre, wenn hierzu genaue Akkommodation gehörte.

5. Man beobachtet häufig, dass gerade Linien, namentlich die Kanten von Körpern, welche in heller Luft stehen, unter gewissen Umständen, keineswegs immer, krumm erscheinen. Diese Wahrnehmung veranlasste schon die Griechen, die frei stehenden Säulen, nicht die an die Wand sich lehnenden Pilaster, mit einer Ausbauchung, Enthasis, zu versehen, lediglich damit dieselben dem Auge als gerade erschienen.

6. Eine gerade Linie, welche ein System anderer nahe aneinander liegenden Linien, z. B. eng gezogene konzentrische Kreise durchschneidet, erscheint nicht mehr als gerade, sondern als gebogen oder gebrochen, je nach den Umständen.

7. Neben den vorstehenden könnte man noch viele andere Erscheinungen nennen, welche theils unerklärt, theils unbeachtet geblieben sind, theils aber eine unrichtige Deutung erfahren haben. Mit der Aufzählung solcher einzelnen Thatsachen fortzufahren, erscheint übrigens umso weniger nothwendig, wenn man erwägt, dass es grossen Gesammtklassen von Erscheinungen und physiologisch-optischen Gesetzen noch an genügender Begründung fehlt. Hierzu gehören z. B. die Funktionen der einzelnen Hauptorgane des Auges, der innere und äussere Bewegungsmechanismus des Auges, die Art und Abhängigkeit der einzelnen Akkommodationsthätigkeiten, die Vorgänge, auf welchen das Urtheil über Entfernung, Grösse, Lichtstärke, Farbe beruht, die verschiedenen Arten und Ursachen der optischen Täuschungen über diese Eigenschaften der äusseren Gegenstände, die Wirkungen gewisser Unvollkommenheiten des Auges,

z. B. des unempfindlichen Fleckes, der Struktur der Linse und des Glaskörpers u. s. w., die Stern- und Strahlenphänomene, die Lichthöfe und Lichtflimmer, die Licht- und Schattensäume, die Irradiationserscheinungen, die Helligkeits-, Farben- und allgemeinen Kontraste, die Nachbilder und das Abklingen der Farben, die Natur der Farben, die Wirkung des farbigen Lichtes auf das Auge, das Wesen des fehlerhaften Farbensinnes, und manches Andere.

Unter diesen Umständen dürfte eine Durchforschung des Gebietes der physiologischen Optik ebenso wünschenswerth für die Wissenschaft sein, wie sie wegen des interessanten Gegenstandes, der uns so zahlreiche und schöne Naturwunder enthüllt, anziehend für den Forschenden ist.

§. 2.

Kritische Entwicklung der Grundanschauungen der Theorie des Lichtes.

1. Konstitution der Materie. Die Kenntniss der physikalisch-mathematischen Theorie des Lichtes wird bei vorliegender Schrift vorausgesetzt. Da jedoch in den Grundansichten über das Wesen des Lichtes noch Lücken vorhanden sind, ohne deren Ausfüllung gewisse physiologische Erscheinungen unerklärbar sind, und da sich auch unter den herrschenden Ansichten Irrthümer befinden; so sehe ich mich veranlasst, soweit es diesen Zweck der Vervollständigung und Berichtigung jener Grundlagen betrifft, die Theorie des Lichtes hier zu berühren.

Man geht von der Ansicht aus, welche ich vollkommen theile, dass die physischen Körper aus zwei Substanzen zusammengesetzt sind: aus Äther und Ponderabelem. Der Äther existirt in den Intermundien auch für sich, wenigstens kann nach dem unmerklichen Widerstande, welchen die Planeten im Weltenraume erleiden, ein etwaiger Gehalt von Ponderabelem in diesen Räumen nur höchst unbedeutend sein, wogegen die Fortpflanzung von Licht und Wärme in diesen Räumen die Anwesenheit einer Substanz, welche eben der Äther ist, nothwendig bedingt. Auch kann der Äther künstlich, z. B. durch die Luftpumpe oder im Vakuum des Barometers isolirt oder doch nahezu rein dargestellt werden.

Das Ponderabele ist bis jetzt als isolirte Substanz noch nicht nachgewiesen, muss aber ebenfalls als für sich existirbar gedacht werden, da die jetzigen Verbindungen zwischen Äther und Ponderabelem, welche die irdischen Körper ausmachen, nicht von je her bestanden haben können, auch nicht als unveränderlich in ihren Mischungsverhältnissen angesehen werden können.

Die Kraft, welche Äther mit Ponderabelem zu Körperstoff verbindet, ist weder Gravitation, noch Kohäsion, noch irgend eine der physikalischen oder mechanischen Kräfte, indem diese letzteren Kräfte immer Gleichartigkeit der attraktiv wirkenden Massen voraussetzen, welche zwischen Äther und Ponderabelem nicht vorhanden ist. Jene Kraft ist auch keine chemische Affinität, weil diese das Gesetz darstellt, nach welchem zwei verschiedenartige Körperstoffe (welche beide

sowohl Äther, als auch Ponderabeles enthalten) sich gegeneinander verhalten. Sie ist vielmehr eine Grundkraft, welche bisher in den Naturwissenschaften nicht gehörig beachtet ist. Ich habe derselben bereits in der Schrift „Körper und Geist, §. 107" erwähnt und sie dort Kosmetismus oder kosmetische Kraft genannt.

Der Kosmetismus ist das Grundgesetz der Ungleichartigkeit oder der gegenseitigen Wirkung ungleichartiger Stoffe aufeinander, wie die Gravitation das Grundgesetz der Gleichartigkeit oder der gegenseitigen Einwirkung gleichartiger Stoffe ist. Der Grundfaktor der Gravitation ist die Masse, der des Kosmetismus die Art. Die Gravitation unterliegt mathematischen Gesetzen, d. h. den Gesetzen der Grösse, der Extensivität, des Raumes, welchen wir das Merkmal der apodiktischen Nothwendigkeit zuerkennen; die Verschiedenheiten der dem Gravitationsgesetze unterworfenen Dinge sind nur Grössenverschiedenheiten, keine Verschiedenartigkeiten. Der Kosmetismus unterliegt durchaus keinen mathematischen Gesetzen, sondern nur Beziehungen, welche man Neigungen, Affinitäten oder wie man sonst will nennen kann, welche aber nicht dem Gesetze der Grösse folgen, nicht das Kennzeichen der apodiktischen Nothwendigkeit an sich tragen, sondern als eigenartige, zwar thatsächlich bestimmte, aber unberechenbare Thätigkeiten sich geltend machen.

Ob das Ponderabele ebenso wie der Äther eine völlig gleichartige Materie sei oder verschiedenartige Materien unter sich begreife, kann nicht zweifelhaft sein. Da alles Ponderabele aufeinander gravitirt; so muss es nothwendig gleichartig sein. Die Verschiedenartigkeit besteht nur zwischen Äther und Ponderabelem. Ich nehme daher an, dass die verschiedenen physischen Körper, zunächst die sogenannten chemischen Elemente, nur Verbindungen von Äther und Ponderabelem in verschiedenen Quantitätsverhältnissen sind. Ein verschiedenes Quantitätsverhältniss zwischen ungleichartigen Materien entspricht aber einer besonderen Phase nicht der Gravitation, sondern des Kosmetismus, erzeugt also Körper, welche den Charakter der Ungleichartigkeit (der chemischen Ungleichartigkeit) an sich tragen, daneben aber auch in gewissen Hinsichten, wegen ihres Gehaltes von gleichartigem Äther und gleichartigem Ponderabelen, die Gesetze der Gleichartigkeit, nämlich die der Gravitation, des Lichtes, der Wärme u. s. w. bethätigen.

Da überhaupt die Bestandtheile der Körper jenen beiden Grundkräften unterworfen sind; so müssen die Körper selbstverständlich auch die beiden Grundgesetze bethätigen und aus den mannichfaltigen Kombinationen der Körper und jener Kräfte müssen komplizirtere Bildungen hervorgehen, in welchen jene Kräfte und Gesetze in verschiedener Weise miteinander konkurriren und sich kombiniren. So zeigen die verschiedenen physischen Körper chemische Affinität als Ausfluss des Kosmetismus: der Chemismus oder das chemische Gesetz aber ist die Kombination der Affinität, also der nur auf der Artverschiedenheit beruhenden Neigung mit der auf den Massenverhältnissen beruhenden Intensität der Attraktion.

Die Verbindung des Äthers mit Ponderabelem nöthigt zu der Annahme, dass keine Änderung in dem Zustande des Einen vor sich gehen kann ohne von einer Änderung im Zustande des Anderen begleitet zu sein.

Nach vorstehender Auffassung, welche alle Stoffe als aus zwei Grundstoffen, Äther und Ponderabelem, bestehend annimmt, könnte man also doch wohl noch aus Blei Gold machen? Die Sache ist sehr einfach und leicht, nur an die kleine Bedingung geknüpft, dass man die rechten Mittel wähle. Mit Chemikalien, überhaupt mit Mitteln, welche lediglich Körper von Körper trennen, geht's freilich nicht. Bei der Loslösung des Ponderabelen vom Äther handelt es sich nicht um chemische, sondern um kosmetische Kraft. Ob wir jemals über diese Kraft zu gebieten haben werden, ist zweifelhaft: die Erscheinung, dass die Verbindungen bei jeder Stufe, wo die Materie sich höher organisirt, in auffallendem Grade hinsichtlich der stofflichen Mischung komplizirter und hinsichtlich der Intensität schwächer werden, indem die vegetabilischen Körperstoffe ungleich komplizirter und loser verbunden sind als die mineralischen, die animalischen wieder viel komplizirter und noch loser verbunden als die vegetabilischen, lässt darauf schliessen, dass die kosmetische Verbindung von Äther und Ponderabelem, welche sich als die absolut einfachste ankündigt, zugleich eine überaus strenge ist.

Die Kunst Gold zu machen, überhaupt die Alchymie ist die Quadratur des Zirkels. An sich und durch die geeigneten Mittel sehr wohl lösbar, kann die Quadratur des Zirkels, wie jedes Ding auf der Welt, nur nicht durch unzureichende Mittel, nämlich nicht durch die in der geraden Linie und dem Kreise ausschliesslich gestatteten Hülfsmittel der niederen Geometrie bewirkt werden. Wie aber mit Hülfe der Kurven im Allgemeinen der Flächenraum des Kreises als Quadrat dargestellt werden kann; so kann auch mit Hülfe der allgemeinen Kräfte, welche die Konstitution der Materie beherrschen, in verschiedenen Körpern das Ponderabele vom Äther getrennt und in anderen Verhältnissen wieder vereinigt werden, um ganz andere chemische Elemente zu bilden.

2. Licht. Licht wird als ein gewisser Vibrationszustand des Äthers aufgefasst, und zwar nimmt man an, die Theilchen schwingen normal zur Fortpflanzungsrichtung, wie die Theilchen eines in Wellenbewegung versetzten Seiles hinundher. Das eine Molekül überträgt seinen Vibrationszustand auf das benachbarte; so pflanzt sich dieser Zustand fort und bildet einen Lichtstrahl. Die Grösse des Ausschlages oder die Amplitude der Schwingungen bedingt die Intensität eines einfachen Lichtstrahles: die Menge einfacher Lichtstrahlen, welche auf die Flächeneinheit des Querschnittes eines Strahlenbündels kommen, unter gehöriger Berücksichtigung der Amplituden dieser einfachen Strahlen ergiebt die Intensität oder Helligkeit des Strahlenbündels. Die Anzahl der Schwingungen in der Zeiteinheit oder die Vibrationsgeschwindigkeit bestimmt die Farbe des Lichtes. Die rothen Strahlen schwingen am langsamsten, die violetten am raschesten, jene machen etwa 480, diese 760 Billionen Schwingungen in der Sekunde.

Ich bin nun der Ansicht, dass wenn ein Körpertheilchen vom

Lichtstrahle getroffen oder wenn der Äther eines Körpertheilchens durch irgend eine Veranlassung in Lichtschwingungen versetzt wird, auch das damit verbundene Ponderabele mitschwingt oder dass überhaupt das Körpertheilchen selbst gewisse Änderungen seiner Eigenschaften erleidet, welche oszillatorisch sind, d. h. welche in periodischen Wiederkehren bestehen. Diese Änderungen werden nicht bloss räumliche und mechanische, also örtliche Schwingungen sein, sondern auch vermöge des Kosmetismus die Art oder Beschaffenheit betreffen, also auch chemische, kalorische, elektrische u. s. w. sein.

Wie die Lichtschwingung eines reinen Äthertheilchens das benachbarte Äthertheilchen, ebenso versetzt ein vibrirendes Körpertheilchen das benachbarte gleichartige Körpertheilchen in denselben Vibrationszustand. Ebenso wie ein Äthertheilchen ein benachbartes Körpertheilchen in einen modifizirten, ebenso versetzt ein vibrirendes Körpertheilchen ein benachbartes Theilchen von verschiedener Körperart in einen modifizirten Schwingungszustand und es leuchtet ein, dass ein vibrirendes Körpertheilchen auch ein benachbartes Äthertheilchen in Lichtschwingungen versetzen wird.

3. Natürliche Farbe der Körper. Bei der Übertragung einer Lichtschwingung von einem Theilchen A auf ein anderes Theilchen B, gleichviel ob A und B reine Äthertheilchen oder beliebige gleichartige oder verschiedenartige Körpertheilchen sind, spielen offenbar zwei Dinge eine wesentliche Rolle. Das erste ist der Schwingungszustand des Theilchens A, welches den Impuls ertheilt: das zweite ist die Beschaffenheit des Theilchens B, welches den Impuls empfängt, oder der natürliche Vibrationszustand, welchen dieses Theilchen B vermöge seiner besonderen Konstituirung aus Äther und Ponderabelem und vermöge seiner Verbindung mit den benachbarten Theilchen zu einem Körpersysteme annehmen würde, wenn es unter dem geringsten Zwange oder so erschüttert würde, dass die volle Arbeit des Impulses, ohne irgend welchen Verlust, in dasselbe überzugehen vermöchte. Dieser natürliche Vibrationszustand des Theilchens B kann auch so definirt werden, dass es ein solcher ist, bei welchem jede vorhergehende Schwingung, wenn kein Arbeitsverlust stattfindet, eine identische nachfolgende hervorruft, welcher also, solange kein Arbeitsverlust eintritt, sich von selbst dauernd aufrecht erhält, indem die Arbeit, welche beim Hingange auf die benachbarten Theilchen übertragen wird, beim Hergange von jenen Theilchen in derselben Kraft und Art zurückgegeben wird.

Die Schallschwingungen bieten die treffendste Analogie zu den Lichtschwingungen. Eine formlose Körpermasse, also eine Körpermasse von unendlichen Dimensionen, sei es Luft, Wasser, Eisen, welche wir uns ganz homogen und vollkommen elastisch denken, ist fähig, jeden Schwingungszustand gleich gut anzunehmen und fortzupflanzen: es kann ein Ton von jeder beliebigen Höhe darin geleitet werden, wie der formlose Äther jeden Farbenstrahl leitet. Wenn jedoch einem Stücke solcher Körpermasse eine bestimmte Form, Spannung gegeben

oder wenn dasselbe überhaupt unter die Herrschaft eines bestimmten mechanischen Systems gebracht wird, ist dasselbe nur fähig ohne Zwang einen bestimmten Vibrationszustand anzunehmen. Ein Stück Stahl von bestimmter Form, z. B. von der Form einer Stange oder einer Glocke, ein Messingdrath von bestimmter Länge und Spannung, eine Portion Luft von bestimmter Form, z. B. der Inhalt einer Orgelpfeife, vermag ohne Zwang nur einen bestimmten Ton zu erzeugen; Diess ist sein natürlicher Ton. Ebenso vermag auch der Äther eines Körpermoleküls, welcher mit Ponderabelem in bestimmter Quantität und Weise verbunden ist, nur einen bestimmten Schwingungszustand anzunehmen oder in einer bestimmten Farbe zu erscheinen.

Bei allen zusammengesetzten Systemen konkurriren die natürlichen Schwingungszustände der einzelnen Systeme miteinander, um dem Gesammtsysteme einen natürlichen Schwingungszustand zu verleihen, welcher aus den natürlichen Schwingungszuständen der einzelnen zusammengesetzt ist. So hat das Rohr einer Orgelpfeife oder einer Flöte und die darin enthaltene Luftsäule ihren besonderen natürlichen Ton: der natürliche Ton der Pfeife ist daher weder der des Rohres, noch der der Luftsäule allein, sondern ein durch beide bedingter dritter. Ebenso konkurriren bei den Lichtvibrationen physischer Körper die natürlichen Vibrationszustände des gebundenen Äthers und des gebundenen Ponderabelen miteinander, um die natürliche Farbe des Körpers zu bestimmen.

Ein einzelner Stoss versetzt einen Körper in seinen natürlichen Schwingungszustand. Hat der Körper bei der Ausführung dieser Schwingungen keinerlei Arbeitsverluste zu erleiden (wie z. B. ein Pendel ohne Reibungen im luftleeren Raume) so vibrirt derselbe ins Unendliche in diesem Zustande gleichmässig fort: sind aber Verluste vorhanden (wie es in der physischen Welt immer der Fall ist) so müssen, wenn alle Schwingungen gleich bleiben sollen, die Stossimpulse genau mit der natürlichen Vibrationsgeschwindigkeit wiederholt werden. So bringt die Luft, welche durch irgend ein musikalisches Instrument erschüttert wird, diejenige gespannte Saite am vollkommensten zum Tönen, welche auf denselben Schwingungszustand gespannt ist. So ruft ein Ätherstoss die natürliche Lichtvibration eines Körpertheilchens hervor, macht dasselbe momentan zu einem leuchtenden Körper und lässt dasselbe in seiner natürlichen Farbe erscheinen. Soll der Prozess dauernd sein; so müssen die Lichterschütterungen ebenso regelmässig erfolgen, der Körper muss also von Licht bestrahlt werden, welches die natürliche Farbe des Körpers hat.

Erfolgen die Stossimpulse nicht isochron mit dem natürlichen Schwingungszustande; so entsteht ein Zustand, welcher sich aus dem natürlichen und dem erregenden zusammensetzt, welcher also weder den einen noch den anderen rein darstellt. Wird eine gespannte Saite oder eine Glocke in regelmässigen Impulsen erschüttert, welche nicht der Schwingungszahl ihres natürlichen Tones entsprechen; so tönt sie, aber weder mit ihrem natürlichen, noch mit dem erregenden, sondern mit einem anderen Tone. Wird ein farbiger Körper von andersfarbigem Lichte bestrahlt; so erscheint er weder in seiner natürlichen Farbe, noch in der des erleuchtenden Lichtes, sondern in einer anderen Farbe.

Der wirkliche Vibrationszustand, welchen ein Körper annimmt, ist nicht ausschliesslich durch die Art des erregenden und des natürlichen Schwingungszustandes, sondern auch durch die Intensität des erregenden Schwingungszustandes und durch die Massenhaftigkeit der beim erregten Schwingungszustande in Bewegung kommenden Theilchen bedingt. Je intensiver die Erregung ist, desto mehr nähert sich im Allgemeinen der wirkliche Vibrationszustand dem erregenden, je schwächer die Erregung ist, desto mehr nähert sich im Allgemeinen dieser Zustand dem natürlichen. Wenn eine Glocke unter hinreichend starken regelmässigen Hammerschlägen ertönt; so erschallt immer mehr der Ton, welcher den Schlägen entspricht: wird dieselbe jedoch durch ganz beliebige, aber hinreichend schwache Impulse angeregt, z. B. nur durch Lufthauche; so erschallt reiner ihr natürlicher Ton.

Demgemäss ändert ein Körper seine Farbe sowohl mit der Art oder Farbe, als auch mit der Intensität des ihn bestrahlenden Lichtes. Je intensiver das bestrahlende Licht ist, desto mehr nähert sich die Farbe des Körpers der des bestrahlenden Lichtes: je schwächer dieses Licht ist, desto mehr erscheint der Körper in seiner natürlichen Farbe.

Allgemein erregt ein Ätherimpuls in den Theilchen eines physischen Körpers ihre natürliche Lichtthätigkeit. Stimmt aber die erregende mit der natürlichen Thätigkeit nicht überein; so geht durch die Verbindung beider eine Umwandlung zu einem neuen Schwingungszustande vor sich.

Ein grüner Körper ist daher nicht desshalb grün, weil derselbe nach der gewöhnlichen Auffassung alle anderen auf ihn fallenden Farbestrahlen absorbirt oder nicht aufnimmt und nur die grünen zurückwirft, sondern weil die Schwingungszahl des grünen Lichtes seinem natürlichen Schwingungszustande entspricht, weil also Lichtimpulse überhaupt diese Vibrationsgeschwindigkeit in ihm erwecken. Der grüne Körper ist übrigens nicht immer gleich grün. Je nachdem er von weissem, rothem, grünem Lichte bestrahlt wird und jenachdem die Intensität dieses Lichtes sich ändert, wechselt auch seine Farbe, indem sich der erregende mit dem natürlichen Lichtprozesse kombinirt. Der grüne Körper wird also von jedem Lichte erregt; er verhält sich gegen keine Art von Licht indifferent; er nimmt jeden Farbenstrahl auf und pflanzt ihn fort, indem er denselben unter der Herrschaft seiner natürlichen Ätherelastizität in anderes Licht umwandelt.

Mit dieser Umwandlung oder Verschmelzung verschiedenartiger Schwingungszustände sind selbstverständlich immer Arbeitsverluste verbunden: auch die Unvollkommenheit der Ätherelastizität der physischen Körper erzeugt solche Verluste. Hierin beruht die Absorption von Licht. Dieselbe hängt, wie nach der Natur der hier in Betracht kommenden Wirkungsgrössen leicht zu erachten ist, nicht so sehr von der Verschiedenheit der Intensität, als von der Verschiedenheit der Art der beiden konkurrirenden Schwingungsweisen ab, und bei dieser Art der Schwingungsweise kömmt auch nicht allein die mittlere Schwingungszahl der Hauptbewegungen des Systemes, sondern auch die Schwingungszahl und die Richtung der Partialbewegun-

gen in Betracht, indem bei der Konkurrenz zweier so komplizirten und periodischen Bewegungen Kollisionen, Stösse, Arbeitsverluste auf sehr mannichfaltige Weise hervorgebracht werden können. Demnach absorbirt ein Körper von der einen Lichtart mehr als von der anderen und zwei verschiedene Körper von gleicher natürlicher Farbe verhalten sich gegen das erregende Licht nicht gleich.

Ganz allgemein erregt ein vibrirender Körper in einem anderen am leichtesten und am intensivsten die Vibration, und zwar die *natürliche* Vibration, wenn die Vibrationsgeschwindigkeit des erregenden mit der natürlichen Vibrationsgeschwindigkeit des erregten *übereinstimmt*. Findet diese Uebereinstimmung nicht statt; so wirken diejenigen Vibrationen um so besser, deren Schwingungszahl mit der Schwingungszahl des natürlichen Vibrationszustandes des erregten Körpers *zusammenfallende Perioden* von möglichster *Einfachheit* bilden. Diese *Einfachheit* drückt sich durch möglichste *Kleinheit der Verhältnisszahlen* aus. Je mehr sich diese Verhältnisse zwischen den Schwingungszahlen der beiden Vibrationszustände von den einfachen Beziehungen 1 : 2, 2 : 3, 3 : 4, 4 : 5, 3 : 5 u. s. w. entfernen, desto schwieriger wird die Erregung, desto mehr geht die Kraft des erregenden Körpers *unwirksam verloren*, desto mehr wird sie von dem erregten *absorbirt*.

Wenn also gewöhnliches Sonnenlicht, welches eine Zusammensetzung aus allen möglichen Farbenstrahlen ist, mit mässiger Intensität in einen Körper eindringt; so werden vorzugsweise diejenigen Strahlen erlöschen oder absorbirt werden, welche mit der natürlichen Farbe dieses Körpers nicht *harmoniren*, wogegen diejenigen Strahlen, welche dieser natürlichen Farbe entsprechen, vorzugsweise ihre erregende Wirkung ausüben. Schliesslich müssen wir aber noch hervorheben, dass die Einfachheit des Schwingungsverhältnisses, um recht wirksam zu werden, nicht gerade in *mathematischer Schärfe* zu bestehen braucht. Eine Saite, deren natürliche Schwingungszahl 1000 ist, wird auch schon stark tönen, wenn ihr die umgebende Luft 999 oder 1001 Stösse in der Sekunde mittheilt, weil mit der Annäherung an ein zu einem gewissen Effekte erforderliches Verhältniss die Störung bei jeder einzelnen Schwingung, welche aus der Differenz entspringt, um so geringer wird, je kleiner diese Differenz wird. Demnach wirken auch *unreine* Oktaven, Quarten, Quinten u. s. w. doch schon stark erregend.

4. Leuchten, Fortpflanzung, Diffusion, Absorption. Von einem Lichtstrahle getroffen werden, heisst also, durch die Vibration eines angrenzenden Theilchens erschüttert oder in einen ähnlichen Vibrationszustand versetzt oder *leuchtend* gemacht werden. Widerstreitet der *erregende* Lichtprozess dem *natürlichen* Schwingungszustande eines Stoffes nicht zu sehr; so wird dieser Stoff leuchtend in seiner *natürlichen Farbe*: im Allgemeinen variirt aber die Farbe, in welcher ein Körper *erscheint* oder *leuchtet*, mit der Farbe und Intensität des *erleuchtenden* Lichtes.

Das erschütterte Theilchen theilt die empfangene Lichterschütterung mit grosser Schnelligkeit dem daranstossenden Theilchen mit und kömmt seinerseits selbstverständlich ebenso rasch zur Ruhe. Um ein Theilchen

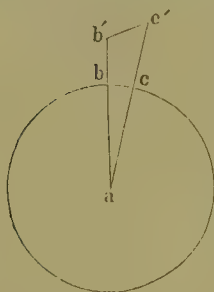
dauernd leuchten zu lassen, müssen sich also die Lichtimpulse dauern wiederholen.

Wenn die Erschütterungen eines Theilchens nicht durch die unmi telbare Übertragung von einem benachbarten Theilchen, welches sic in derselben Bewegung befindet, sondern in jenem Theilchen selbst er zeugt werden, z. B. durch Chemismus oder Stoffwechsel, durch Er hitzung, durch Elektrizität u. s. w.; so nennt man das Theilchen selbst leuchtend.

Für die Theorie des Lichtes ist es gleichgültig, auf welche Weis der Punkt, von wo ab man die Lichtbewegung betrachtet, in Licht schwingungen versetzt ist, ob durch Lichtimpulse oder durch che mische, kalorische u. s. w., d. h. ob jener Punkt mit geborgte oder mit eigenem Lichte leuchtet.

Die bekannten physischen Prozesse, welche Licht erzeugen ode Selbstleuchter schaffen, rufen eine Lichterschütterung hervor, welch sich nach allen Seiten hin ausbreitet: ein selbstleuchtender Punkt a Fig. 1, sendet seine Strahlen nach allen Richtungen des Raumes aus, er regt also den ganzen materiellen Raum rings um sic herum zu Lichtschwingungen. Verbindet man all endlich benachbarten Punkte b, c . . ., welche sic momentan in gleichen Schwingungsphasen (z. B im Zustande des grössten Ausschlages nach rechts befinden, miteinander; so entsteht eine Kugel fläche. Diese Fläche stellt die Form der Wellen oberfläche der fortschreitenden Lichtbewegung dar Indem diese Fläche in der Richtung ihrer Normale vorrückt und sich ausdehnt, zeigt sie an, wie di nämliche Phase des Schwingungszustandes sich vo Theilchen zu Theilchen durch den Raum verbreitet

Fig. 1.



Wenn das Medium, in welchem sich ein Lichtstrahl fortpflanzt, durch aus einfach, nach allen Richtungen homogen und vollkommen elastisc ist, wie wir es vom Äther voraussetzen; so werden sich die Impulse welche die Theilchen bc in den Richtungen der verschiedenen innerhal des Winkels bac liegenden Radien empfangen, auch nur in denselbe Richtungen auf die in diesem Winkel liegenden nächstfolgenden Theil chen übertragen: die gesammte Lichtthätigkeit aller in einer Wel lenoberfläche liegenden Theilchen wird stets dieselbe bleiben, wie gros auch der Radius ab wird: die Lichtthätigkeit pro Flächeneinheit de Wellenfläche oder die Intensität des Lichtes wird sich also im umge kehrten Quadrate der Entfernung vom leuchtenden Punkte a ver mindern, weil die Wellenoberfläche, auf welche sich dieselbe Lichtmeng vertheilt, sich in diesem Verhältnisse vergrössert.

Wenn die Entfernung ab des Querschnittes bc des Strahlenbündel bac von dem leuchtenden Punkte a im Vergleich zu der Grösse diese Querschnittes sehr bedeutend ist (Fig. 2); so sind alle in dem Winke bac liegenden Linien oder alle einfachen Strahlen nahezu einander paralle Für die nächsten Strecken bb', $b'b''$ jenseit bc behält also das Strahlenbün del nahezu denselben Querschnitt $bc = b'c' = b''c''$ und demgemäss auc dieselbe Intensität. In vollkommen parallelen Strahlenbündel

pflanzt sich also das Licht nur in einer einzigen Richtung, oder ohne konische Erweiterung der Wellenfläche, also auch ohne Schwächung fort.

Fig. 2.

Nach Vorstehendem wird jedes im Zuge eines Strahles liegende Äthertheilchen durch die Impulse des vorhergehenden Theilchens in einen Schwingungszustand versetzt, welcher dem eines selbstleuchtenden Theilchens nur in gewisser, nicht in allen Beziehungen gleich ist. Ein solches Theilchen kann nur als leuchtend in der Richtung des Strahles, nicht wie ein lichterzeugendes Theilchen als ein Selbstleuchter in allen Richtungen angesehen werden. Diese Bemerkung ist für die folgenden Untersuchungen von Bedeutung. Es wird in der Theorie des Lichtes zuweilen dagegen verstossen und ich hebe demnach noch Folgendes hervor. Betrachtete man in Fig. 2 den Querschnitt $b\,c$ des parallelen Strahlenbündels als selbstleuchtend; so müsste, wenn $b\,b''$ doppelt so lang als $b\,b'$ ist, in dem Querschnitte $b''c''$ nur der vierte Theil der Intensität herrschen wie in $b'c'$; überhaupt müsste der parallele Strahl bald ganz erlöschen. Alles Dieses widerspricht der Wirklichkeit so gut wie den Prinzipien.

Wenn die Lichterzeugung nicht von einem einzigen, sondern von vielen Punkten ausgeht, welche eine zusammenhängende ebene oder krumme, glatte oder rauhe Fläche bilden; so wird jeder Punkt seine Lichtwirkung nach allen Seiten durch den Äther fortpflanzen und alle solche elementaren Wirkungen, welche einunddasselbe Theilchen des Raumes treffen, werden sich nach mechanischen Gesetzen zu einer Resultante zusammensetzen. Allein diese unendlich vielen einander durchdringenden Wellensysteme werden sich noch in einer anderen Weise beeinflussen. Wenn die Materie und der Äther auch nicht aus untheilbaren Atomen besteht; so bilden doch unzweifelhaft gewisse elementare Quantitäten von bestimmter Grösse die kleinsten Moleküle, welche die besondere Beschaffenheit eines gegebenen materiellen Stoffes bedingen. Alle Impulse, welche auf ein solches Molekül treffen, werden sich kombiniren. Diese Moleküle hängen ferner miteinander durch Kohäsion innig zusammen, und dieser Zusammenhang wird eine Verschmelzung der Impulse der nahe beieinander herlaufenden Strahlen bedingen. Eine solche Verschmelzung nebeneinander liegender Strahlen kann übrigens nur sehr allmählich, also erst in ungemein grossen Entfernungen vollständig vor sich gehen. Bei genügender Länge der Strahlen, welche von den Punkten des selbstleuchtenden Körpers $a\,a'$ (Fig. 3) ausgehen, werden sich also für irgend einen sehr entfernten Punkt b in der Gesammtheit aller in dem Winkel $b\,a\,a'$ liegenden Strahlen konzentrische Wellenoberflächen $c\,d$ bilden, in deren Punkten eine gleiche Lichtthätigkeit herrscht.

Fig. 3.

Demgemäss erscheint auf der Erde der durch eine feine Öffnung tretende Sonnenstrahl, obgleich derselbe ein Bündel divergirender aus unendlich verschiedenen Punkten und Entfernungen herstammender Strahlen bildet, doch nahezu als ein pa-

ralleles Bündel von Strahlen mit gleicher Phase oder mit normaler Wellenoberfläche.

Wir bemerken noch, dass wie die Kohäsions- und Konstitutionskraft des Äthers die Verschmelzung der benachbarten Strahlen bewirkt und dadurch Wellenoberflächen von gleichen Phasen erzeugt, dieselbe Kraft auch die bereits erzeugten Wellenoberflächen mit einer gewissen Energie vor Störungen schützt, also die Vibrationszustände der in einer solchen Fläche liegenden Theilchen wie ein zusammengehöriges Ganze fortzupflanzen strebt.

Die vollkommenste Einfachheit, Homogenität und Elastizität, auf welchen das vorstehend entwickelte Gesetz der ungeschwächten Fortpflanzung eines parallelen Lichtbündels in der ursprünglichen Richtung beruht, kömmt nur dem reinen Äther (wenigstens in einem sehr hohen Grade) zu. In physischen Körpern muss schon die Zusammensetzung aus Äther und Ponderabelem bewirken, dass die Lichtthätigkeit sich nicht ausschliesslich und ungeschwächt in der geraden Linie *ab* fortsetzt. Die Konkurrenz der Schwingungen des Äthers mit denen des Ponderabelen muss nothwendig ebenso wie die Konkurrenz der Schwingungen der Luftsäule in einer Flöte mit den Schwingungen des Holzrohres der Flöte zunächst eine Schwächung der eigentlichen Lichtthätigkeit in der Richtung *ab* hervorbringen. Der Verlust an Arbeit in der Richtung *ab* ist aber nicht nothwendig ein Verlust an der Gesammtarbeit des Systemes, sondern im Allgemeinen nur eine Ablenkung. Der eigentliche Verlust an Arbeit wird nur durch die Unvollkommenheit der Elastizität erzeugt und entspricht der Absorption oder Vernichtung von Licht. Jene Ablenkung aus der Richtung *ab* ist Schwächung des Lichtes in dieser Richtung und gleichzeitig Erzeugung von Licht in anderen Richtungen.

Allgemein wird also jedes physische Körpertheilchen, welches einen Lichtimpuls empfängt, diesen Impuls, nachdem derselbe durch den natürlichen Schwingungszustand jenes Theilchens mehr oder weniger modifizirt ist, nicht mit voller Kraft in der Richtung der Empfangnahme an das betreffende Nachbartheilchen weitergeben: vielmehr wird wegen unvollkommener Elastizität eine gewisse Lichtmenge ganz vernichtet werden, ausserdem aber wird jenes Theilchen eine gewisse Lichtmenge in allen Richtungen rings um sich herum an die benachbarten Theilchen abgeben. Jedes Theilchen *b* eines physischen Körpers, auf welches ein Lichtstrahl *ab* trifft, wird also auch in der Beziehung momentan zu einem Selbstleuchter, dass es Licht nach allen Seiten hin aussendet. Hierbei werden je nach den Umständen gewisse Richtungen bevorzugt werden, so dass sich in ihnen mehr Licht fortpflanzt, als in anderen: ganz ausgeschlossen von der Erregung ist jedoch keine.

Was man gewöhnlich Diffusion oder Zerstreuung von Licht nennt, ist nichts Anderes als dieser Prozess der Ablenkung des Lichtes von der direkten Fortpflanzungsrichtung oder der Lichtverbreitung nach allen Seiten.

Die Menge dieses zerstreuten Lichtes hängt natürlich von der besonderen physikalischen Beschaffenheit des Körpertheilchens ab. Durch-

sichtige farblose Körper sind solche, in welchen diese aus der Hauptrichtung abgelenkte Lichtmenge null sein sollte, in Wirklichkeit aber nur sehr klein ist. Ebenso hängt die Art dieses zerstreuten Lichtes von der Beschaffenheit des Körpertheilchens ab, und dieselbe wird fast immer nahezu die natürliche Farbe des Körpers sein, wogegen bei dem direkt fortgepflanzten Lichte das erregende Licht, welches sich mit der natürlichen Farbe des Körpers kombinirt, sich mehr oder weniger geltend macht.

Die Durchsichtigkeit, die Durchscheinenheit und die Undurchsichtigkeit unterscheiden sich nur durch das Verhältniss der Menge des direkt fortgepflanzten zu der Menge des in die Seitenrichtungen abgelenkten Lichtes und durch die Menge des wirklichen Verlustes an Licht.

Bei den durchsichtigen Körpern ist das abgelenkte oder zerstreute Licht verhältnissmässig schwach gegen das direkt fortgepflanzte. Jenes stellt die natürliche Farbe der durchsichtigen Körper dar. So ist roth die natürliche Farbe des durchsichtigen rothen Glases vermöge der bei der Fortpflanzung irgend eines Lichtstrahles entstehenden Lichterschütterungen in den Seitenrichtungen: dieses Glas pflanzt direkt jeden Farbenstrahl fort, wobei derselbe jedoch nicht bloss Verlust oder Absorption, sondern auch eine Umwandlung erleidet, vermöge welcher derselbe sich umso mehr der Farbe des erregenden Strahles nähert, je kräftiger dieser Strahl ist, oder umso mehr der rothen Glasfarbe, je schwächer jener Strahl ist.

So ist grün die natürliche Farbe des Wassers, blau die der Luft, orange die des Wasserdunstes, weisslich blau die des gesättigten Gemisches von Luft und Wasserdunst, nur vermöge des bei der Fortpflanzung von Sonnenlicht in den Seitenrichtungen entstehenden spezifischen Leuchtprozesses jener Stoffe, und es ist ein vergebliches Bemühen, den Grund der Farbe dieser Stoffe in der Reflexion an kleinen Partikelchen oder in der Refraktion an Wänden von Bläschen oder in anderen ähnlichen Dingen zu suchen.

Im vollkommen undurchsichtigen Körper ist die Fortpflanzung oder die direkte Übertragung der Lichtthätigkeit von Theilchen zu Theilchen null oder eigentlich nur sehr schwach. Die gesammte von einem äusseren Lichtimpulse empfangene Arbeit setzt sich in die allgemeine, dem natürlichen Vibrationszustande entsprechende, nach allen Seiten gerichtete Lichtthätigkeit um und bringt die im Allgemeinen viel intensivere natürliche Farbe des Körpers zum Vorschein. Ausserdem ist mit diesem Vorgange ein bedeutender Verlust an Arbeit verbunden; es wird viel Licht absorbirt.

5. Zur Sichtbarkeit erforderliche Intensität. Ein Lichtstrahl ab, (Fig. 1) dessen Querschnitt ein mathematischer Punkt wäre, könnte für ein menschliches Auge nicht wohl sichtbar sein, weil der Lichtreiz, welchen ein solcher Strahl zu erzeugen vermöchte, ein für die Reizbarkeit des Auges ungenügendes Minimum wäre. Zur Erregung des Sehorgans ist also eine gewisse Menge von erregenden Punkten oder ein Strahlen-

bündel von gewissem Querschnitte bc nöthig. Je intensiver die Lichtthätigkeit in jedem Punkte oder pro Flächeneinheit ist, desto kleiner kann dieser Querschnitt sein.

Dasselbe Strahlenbündel wird offenbar den grösstmöglichen Lichteffekt hervorbringen, wenn das Auge so steht, dass die für den Lichteindruck empfänglichen Nervenelemente in die Wellenoberfläche bc fallen. Alsdann empfangen die nebeneinander liegenden Nervenelemente die Lichtimpulse nicht bloss sämmtlich in gleicher Weise, sondern auch in direkter Richtung der Fortpflanzung, also mit vollster Intensität und so, dass sie die Fortpflanzungsrichtung am deutlichsten empfinden.

Das Auge sieht also den Punkt a am schärfsten, wenn seine Axe normal auf der Wellenoberfläche steht. Für den gewöhnlichen Fall der Lichtverbreitung zeigt diese Richtung direkt auf den Punkt a; allgemein, wenn die Wellenoberfläche keine Kugelfläche ist oder beim Fortschritte ihre Richtung ändert, ist Diess jedoch nicht der Fall. Das Auge b sieht also allgemein den leuchtenden Punkt a nicht in der von ihm nach jenem Punkte führenden geraden Linie: das Auge sieht überhaupt gar nicht unmittelbar einen von ihm entfernt liegenden Punkt, es steht mit keinem ausser ihm liegenden Punkte in unmittelbarer Verbindung; dasselbe empfindet vielmehr die Richtung, in welcher es von den ankommenden Strahlen direkt affizirt wird, also die auf der Wellenoberfläche bc normal stehende Richtung: in dieser Richtung scheint dem Auge der leuchtende Punkt a zu liegen.

Dass die Phase aller in der Fläche bc liegenden Theilchen dieselbe, also z. B. bei allen der grösste Ausschlag nach rechts sei, ist nur ein Erforderniss dafür, dass das von a ausgehende Licht bei b den grösstmöglichen Effekt hervorbringe. Wenn die Phasen jener Theilchen ungleich sind; so hört darum nicht jeder Lichteffekt auf. Die Gleichheit der Phase ist also kein absolutes Erforderniss für die Sichtbarkeit des Punktes a. Auch völlige Gleichheit der Richtungen der Fortpflanzung des Lichtes für alle in ab liegenden Theilchen ist nicht absolut, sondern nur zur Erzeugung des höchsten Lichteffektes und zur Hervorbringung des bestimmtesten und sichersten Gefühls für die Fortpflanzungsrichtuug erforderlich.

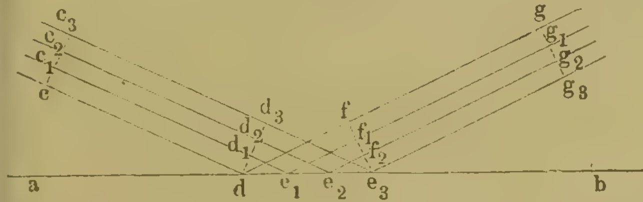
Selbst wenn also das Auge normal zu irgend einer Linie $b'c'$ stände, also weder die Phasen aller Punkte in $b'c'$ gleich, noch die Fortpflanzungsrichtungen parallel zur Augenaxe wären, würde nicht aller Lichteindruck fehlen, wie man gewöhnlich annimmt. Derselbe würde freilich in vielen Fällen unmerkbar sein: allein es giebt doch auch gewisse Fälle, wo die Lichterscheinungen unter solchen Umständen eine wichtige Rolle spielen. Diese Fälle treten besonders dann ein, wenn es sich nicht um einen einzigen, sondern um mehrere Punkte a, welche gleichzeitig Licht aussenden, also wenn es sich um leuchtende Flächen handelt, wie wir sogleich näher zeigen werden.

6. **Reflexion, Diffusion, Interferenz.** Die ebene Oberfläche ab eines Körpers (Fig. 4) werde an der Stelle de_3 von einem parallelen Strahlen-

ündel $c d c_3 e_3$, welches sich in einem angrenzenden anderen Medium fortpflanzt, getroffen: es sollen die durch die Erregung der Theilchen $d e_1 e_2 e_3$ entstehenden Lichtwirkungen untersucht werden.

Nach dem Vorstehenden verbreitet jedes dieser Theilchen wie d theils desshalb, weil es nicht dem reinen Äther, sondern einem physischen Körper angehört, vornehmlich aber desshalb, weil es auf der Grenze zweier verschiedenen Medien liegt, also der Herd der Umwandlung von ichtvibrationen, folglich auch die Ursache der Zerschellung derselben st, Licht nach allen Richtungen sowohl in dem Medium, aus welchem der Strahl herkömmt, als auch in dem Medium, auf welches er trifft. Wenngleich das Theilchen d hierdurch einem Selbstleuchter ähnlich wird; so wird es demselben doch noch nicht gleich, weil die Fähigkeit Licht zu entsenden, nicht für alle Richtungen gleich sein kann. Wir ehen also die Intensität der einfachen Strahlen, welche von d ausgehen, ls variabel mit der Richtung derselben an. So viel aber ist unzweifelhaft, dass diese Intensität sich nur allmählich ändern kann, dass dieselbe lso innerhalb eines kleinen Winkels, dessen Scheitel in d liegt, nahezu ich gleich bleibt. Demgemäss kann die Wirkung des leuchtenden unktes d auf eine Fläche $g g_3$, für welche der Winkel $g d g_3$ klein ist, anz und gar wie die eines selbstleuchtenden Punktes angesehen erden.

Fig. 4.



Betrachten wir nun zunächst die Lichtverbreitung in dem ersteren Medium, aus welchem der Strahl kömmt.

Diejenige Richtung $d g$, in deren Normalebene $g g_3$ alle Punkte stets ieselbe Phase haben, muss offenbar den grösstmöglichen Lichtffekt aufweisen. Diess ist die Richtung, deren Neigungswinkel $g d b$ egen die Ebene $a b$ dem Neigungswinkel $c d a$ des einfallenden Strahles leich ist. Denn wenn in diesem Strahle d, d_1, d_2, d_3 die in einem noralen Querschnitte liegenden vibrirenden Punkte sind; so haben dieselben ine gleiche Phase. Ist ferner $f e_3$ eine Normalebene auf der Richtung g; so sind alle Wege $d f$, $d_1 e_1 f_1$, $d_2 e_2 f_2$, $d_3 e_3$ gleich lang; folglich aben auch alle Punkte in der Ebene $f e_3$ gleiche Phase. Demgemäss eigt der Strahl $d g e_2 g_3$ den grössten Lichteffekt von allen abrallenden Strahlen. Man nennt diesen Strahl den reflektirten nd die Bildung desselben Reflexion oder Spiegelung.

Irrthümlich ist aber die Meinung, dass das Licht nur unter dem infallswinkel zurückgeworfen werde. Dasselbe wird, wie weier oben hinreichend erläutert ist, in jeder Richtung, wenn auch it variabeler Intensität der einfachen Strahlen zurückgeworfen und zeigt arin entsprechende Effekte.

Betrachten wir in Fig. 5 (a. f. S.) die Wirkung, welche die erregten unkte d, e_1, e_2, e_3 in irgend einer beliebigen Richtung $d g$, in

welcher sie ebenfalls Licht aussenden, hervorbringen. Während sich d
Licht von d_3 bis e_3 fortpflanzt, pflanzt sich dasselbe von d_2 über e_2
h_2, von d_1 über e_1 bis h_1 und von d bis h fort. Die Längen der We
$d_3 e_3$, $d_2 e_2 h_2$, $d_1 e_1 h_1$, $d h$ sind gleich; demgemäss bilden die Endpun
$e_3 h_2 h_1 h$ eine gerade Linie. In dem schrägen Querschnitte h
des Strahles $d g e_3 g_3$ herrscht nun allenthalben dieselbe Phase. Hi
aus folgt, dass in dem normalen Querschnitte $f e_3$ dieses Strahles nic

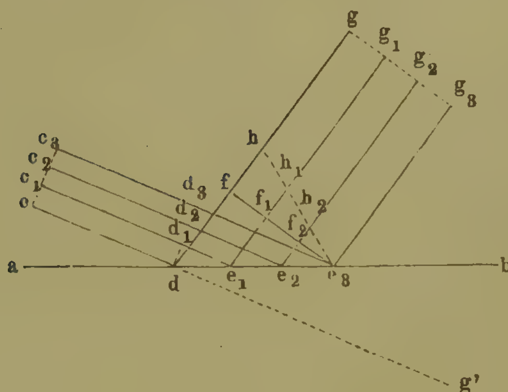


Fig. 5.

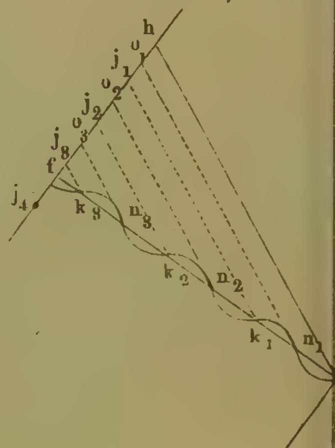


Fig. 6.

überall dieselbe Phase herrschen kann. Macht man auf der Li
$h d$ von h gegen f nach Fig. 6 die Linienstücke $h i_1$, $i_1 i_2$, $i_2 i_3$, $i_3 i_4$
sämmtlich gleich der Wellenlänge und zieht die Linien $i_1 k_1$, $i_2 k_2$, $i_3 k$
parallel zu $h i_3$; so herrscht in allen diesen Linien, also in allen Punk
k_1, k_2, k_3 ... des normalen Querschnittes dieselbe Phase wie in
während in den Mitten n_1, n_2, n_3 ... zwischen diesen Punkten die dir
entgegengesetzte Phase herrscht. Schlägt also das Theilchen
e_3 am weitesten nach rechts aus; so thun Dieșs auch die Theilchen bei
k_2, k_3 ..., während die Theilchen n_1, n_2, n_3 ... am weitesten nach li
ausschlagen.

Überhaupt befinden sich alle auf den Strecken $e_3 n_1$, $k_1 n_2$, $k_2 n_3$
liegenden Theilchen stets in dem entgegengesetzten Schwingungszusta
wie die auf den Strecken $n_1 k_1$, $n_2 k_2$, $n_3 k_3$ ... liegenden. Hieraus
Schluss zu ziehen, dass die Impulse der ersteren Theilchen die Imp
der letzteren vernichten und dass auf der ganzen Strecke $e_3 f$ nur
Theilchen $k_3 f$ wirksam bleiben, ein Schluss, wie derselbe bei der gewö
lichen Darstellung der Beugungserscheinungen gemacht wird,
vollkommen irrig. Denn vernichten können sich entgeg
gesetzte Lichteffekte nur dann, wenn sie momentan d
selbe vibrirende Massentheilchen affiziren, nicht ab
wenn sie sich, wie hier, auf nebeneinander liegende, a
verschiedene Massentheilchen beziehen. (Nur bei üb
mässig lange dicht nebeneinander herlaufenden Strahlen kann n
dem Obigen vermöge der Kohäsion des Mediums allmählich eine

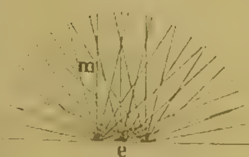
schmelzung angebahnt werden Dieser Fall kömmt jedoch hier nicht in Betracht, da die Strahllänge dg, welche einem Experimente unterworfen wird, viel zu kurz ist, um eine solche Verschmelzung bewirken zu können.)

Während in dem reflektirten Strahle von höchstem Effekte nach Fig. 4 in dem Querschnitte gg_3 alle Elemente gleichzeitig in derselben Weise schwingen, ertheilen sie sämmtlichen darauf folgenden Theilchen (des Mediums oder des Auges) im Anfangsmomente jeder Schwingung gleichzeitig denselben Stoss. Dieser allseitige und gleiche Stoss wiederholt sich bei jeder Schwingung einmal. Enthält also der Querschnitt des Strahles m Elemente; so erfolgen bei jeder Schwingung überhaupt m Elementarstösse auf den benachbarten Querschnitt. Bei dem in Fig. 5 und Fig. 6 betrachteten Strahle üben jedoch momentan nur vier Elemente wie e_3, k_1, k_2, k_3 gleichzeitig diesen Stoss aus. Der Effekt dieses Stosses ist also ungleich geringer, als der von jenen m Elementen: allein im Verlaufe einer Schwingungszeit gelangen alle einzelnen zwischen $e_3 k_1$, $k_1 k_2$, $k_2 k_3$ ... liegenden Elemente, immer zu je vier zum Stosse. Im Ganzen beläuft sich also während dieser Zeit die Gesammtzahl aller Stösse ebenfalls auf m. Der Totaleffekt kann zwar im letzteren Falle den im ersteren Falle desshalb nicht vollständig erreichen, weil bei dem Stosse in einer bestimmten Richtung auf zwei nebeneinander liegende Massentheilchen, wenn er nicht gleichzeitig, sondern erst auf das eine und dann auf das andere erfolgt, ein grösserer Theil der Wirkung seitwärts zerstreut werden muss, als wenn er gleichzeitig stattfindet: im Übrigen kann dieser Verlust für den Gesammteffekt durchaus nicht von solcher Bedeutung sein, um die Erscheinungen der Wirklichkeit daraus zu erklären.

Die gewöhnliche Auffassungsweise der Lichtwirkung zeigt sich also auch in diesem Punkte als unzulänglich. Der wahre Sachverhalt ist folgender.

Der Punkt e der Oberfläche des von Licht getroffenen Mediums sendet nach allen Richtungen Strahlen aus (Fig. 7). Ebendasselbe thut aber jeder Punkt dieser Oberfläche. Die von den einzelnen Punkten des erleuchteten und demgemäss leuchtenden Mediums ausgehenden Strahlen treffen sich in unzähligen Punkten desselben und des darüber liegenden Mediums, oder interferiren. Irgend ein Punkt m des Raumes wird also von unendlich vielen Strahlen getroffen, indem jeder Punkt der leuchtenden Fläche ihm einen Strahl zusendet. Der Vibrationszustand des Theilchens m ist also das Resultat der Interferenz oder Begegnung der von allen übrigen Theilchen der leuchtenden Fläche ausgehenden Strahlen.

Fig. 7.



Die Wirkung der Interferenz wird nach den allgemeinen Grundsätzen der Mechanik über die Komposition von Kräften bestimmt. Wir können den Gegenstand hier nicht erschöpfend behandeln und bemerken darüber nur Folgendes. Zwei Stösse, welche dasselbe Theilchen m affiziren, addiren sich, wenn sie in derselben Richtung erfolgen; sie subtrahiren

sich, wenn sie in entgegengesetzter Richtung liegen, vernichten sich al wenn sie in letzterem Falle gleiche Intensität haben. Liegen die Stös in verschiedenen Richtungen; so setzen sie sich nach dem Parallelogram der Kräfte zusammen. Für unsere Frage kommen von allen Stössen n diejenigen Komponenten in Betracht, welche der Richtung dg (Fig. parallel sind, in welcher wir den Lichteffekt untersuch wollen. Diese Komponen wird bei gleicher Intensität d Stosses umso kleiner, je weit der leuchtende Punkt, von w chem er ausgeht, seitwärts v e liegt: diese Intensität ab wird umso kleiner, je weit sich die Richtung des stoss den Strahles von derjenig Richtung nm entfernt, wel mit der Ebene ab den Win cda bildet. Die hauptsäc lich wirksamen Strahlen f den Punkt m liegen also, we m ein Punkt der auf ab n mal stehenden Ebene $acgb$ ist, in dieser Reflexionsebene und thei sich in zwei Gruppen: die eine Gruppe sind die Nachbaren d Strahles nm, die andere die Nachbaren des Strahles em. F jeden Strahl der ersten Gruppe ist die Intensität des Stosses die d eigentlich reflektirten Strahlen nahezu gleich, die Komponente d ses Stosses in der Richtung em also $= a \cos (\beta - \alpha)$, wenn a die Int sität eines eigentlich reflektirten Strahles, α den Einfallswinkel $cda = m$ des erregenden und β den Austrittswinkel $gdb = meb$ des erregt Strahles bedeutet. Für jeden Strahl der zweiten Gruppe ist die Intensi b nahezu gleich der eines unter dem Winkel β zurückgeworfenen Strahl Zu den von den Punkten der Linie de_3 ausgehenden Strahlen ges sich aber noch die unendliche Menge von Strahlen, welche von den üb gen Punkten der Ebene ab entsandt werden. Je weiter die Richtu eines solchen Strahles aus der Ebene mab heraustritt, desto unwirksan wird ein solcher Strahl und man findet leicht, dass wenn man in d Ebene ab auf der Linie ab in irgend einem Punkte e ein Perpendi errichtet, die Gesammtwirkung aller leuchtenden Punkte dieses Perp dikels ein gewisses Vielfaches der Wirkung des Punktes e ist, weil a diese Strahlen beim Austritte aus der Ebene ab dieselbe Phase v der Punkt e haben.

Fig. 8.

Je näher der Punkt m an der brechenden Fläche liegt, desto m wird der auf ihn in der Richtung em sich äussernde Lichteffekt mit d Entfernung em variiren, weil die Neigungen aller auf ihn treffen Strahlen mit dieser Entfernung erheblich sich ändern.

Wenn jedoch der Punkt m' in recht grosser Entfernung v der erleuchteten Fläche angenommen wird, d. h. in einer Entfernu welche im Vergleich zu den Dimensionen des erleuchteten Theil de_3 dieser Fläche gross genannt werden kann; so vereinfachen sich

Sachen auf interessante Weise, und diesen Fall wollen wir einer näheren Betrachtung unterziehen.

Für einen solchen entfernten Punkt m' können alle nach dem erleuchteten Theile der Fläche gezogenen Linien als parallel der Richtung $m'e$ angenommen werden. Es handelt sich also nur um die zweite der beiden vorhin genannten Gruppen von Strahlen, indem eine von m' mit mn parallel gezogene Linie über den erleuchteten Flächentheil hinausfällt, also die zur eigentlichen Reflexionsrichtung mn parallelen Strahlen nicht existiren.

Jetzt tritt für die Erregung des einen Punktes m die schon in Fig. 5 und Fig. 6 gemachte Konstruktion in Kraft. Es ist $dh = d_3 e_3 = a \cos \alpha$, wenn man die Breite der leuchtenden Fläche $d e_3$ mit a und den Einfallswinkel cda des erregenden Strahles mit α bezeichnet. Wenn $e_3 f$ das Loth von e_3 auf die Richtung des erregten Strahles em' ist und der Neigungswinkel $m'eb$ dieses Strahles $= \beta$ gesetzt wird; so hat man $df = a \cos \beta$, also $hf = a (\cos \alpha - \cos \beta)$. Steckt man nun von h aus auf hf nach Fig. 6 die Wellenlängen $hi_1 = i_1 i_2 = i_2 i_3 \ldots = i_{n-1} i_n = \lambda$ ab und sind $o_1, o_2, o_3 \ldots$ die Mitten dieser Wellenlängen; so wird sich der Effekt aller auf den vollen Strecken $e_3 k_1$, $k_1 k_2$, $k_2 k_3 \ldots k_{n-1} k_n$ liegenden leuchtenden Punkte auf den Punkt m' vollständig aufheben, weil in jeder solchen Strecke, wie z. B. $k_1 k_2$, zwei Punkte, welche gleich weit von dem Ende k_1 und von der Mitte n_2 nach k_2 hin abstehen, entgegengesetzte Phasen haben. Die Erregung des Theilchens m' hängt also lediglich von der Leuchtkraft der zuletzt überschiessenden Strecke $k_n f$ ab, welche dem überschiessenden Stücke $i_n f$ in der Linie hf entspricht. Dieses Stück ist kleiner als eine Wellenlänge und ist gleich

$$a (\cos \alpha - \cos \beta) - n \lambda$$

Ist dieses überschiessende Stück null, ist also $hf = a (\cos \alpha - \cos \beta)$ irgend ein Vielfaches der Wellenlänge λ; so ist auch der Lichteffekt auf m' in der Richtung cm' oder überhaupt der Lichteffekt in der Richtung em', d. h. eines jeden unter dem Winkel β abgelenkten Strahles null. Ist jenes überschiessende Stück dagegen gleich einer halben Wellenlänge oder ist $hf = a (\cos \alpha - \cos \beta)$ gleich einem ungeraden Vielfachen der halben Wellenlänge; so ist der Lichteffekt in der Richtung des Winkels β ein Maximum von den Wirkungen in den benachbarten Richtungen.

Dieses Maximum des Lichteffektes, welches für gewisse Werthe des Winkels β stattfindet, ist für jeden besonderen Werth von β, welchem es zugehört, ein anderes. Dasselbe wird immer kleiner, je mehr sich der Winkel β von dem Werthe α nach oben oder unten entfernt. Denn je grösser die Differenz zwischen α und β, oder je grösser das Stück $hf = a (\cos \alpha - \cos \beta)$ wird, desto kleiner wird auf dem normalen Querschnitte $e_3 f = a \sin \beta$ die Länge $o_3 k_1$ oder deren Hälfte

$$e_3 n_1 = \frac{\sin \beta}{\cos \alpha - \cos \beta} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

welche das Mass für jenes Maximum der Lichtwirkung darstellt.

Hierzu kömmt noch, dass je mehr der Winkel β von α oder die Richtung dg von der eigentlichen Reflexionsrichtung abweicht, die

Leuchtkraft jedes Punktes d in der Richtung dg, d. h. die Intensität der einfachen Strahlen, welche jeder Punkt d durch Diffusion entsendet, desto schwächer wird.

Für zwei Werthe von β erreicht jenes Maximum seinen höchsten Werth, nämlich für $\beta = \alpha$ und für $\beta = -\alpha$. Für beide Werthe würde jenes Maximum sogar unendlich gross werden: es bleibt aber endlich, weil der Werth $\beta = \alpha$ zwar der analytischen Bedingung für das Maximum der Länge $e_3 w$, aber nicht der physikalischen entspricht. Denn für $\beta = \alpha$ wird $hf = a\,(\cos\alpha - \cos\beta) = 0$ und die ganze Normalbreite $e_3 f$ ist jetzt nur ein unendlich kleiner Theil des einer Wellenlänge entsprechenden Stückes. Der absolute Werth des Lichteffektes für $\beta = \pm\,\alpha$ nimmt also in der Reihe jener analytischen Maximen einen singulären Werth an.

Das erste Maximum für $\beta = \alpha$ gehört dem eigentlichen reflektirten Strahle und das zweite Maximum für $\beta = -\alpha$ dem direkt fortgepflanzten Strahle an (insofern das unterhalb ab liegende Medium vermöge seiner physikalischen Beschaffenheit keine Ablenkung der Fortpflanzungsrichtung bedingt, wovon weiter unten die Rede sein wird).

Für zwei Werthe von β nimmt das obige Maximum seinen niedrigsten Werth an. Nämlich für $\beta = 0$ und $\beta = 180^0$. Dieser Werth ist null und entspricht den parallel zur Ebene ab fortgehenden Strahlen.

Es ist klar, dass sich jedes eigentliche Maximum und jedes Minimum des von der Fläche de_3 ausgehenden Lichteffektes, welches sich beim Auffangen des Strahles auf einem entfernten Schirme zeigt, immer auf einen mathematischen Punkt m' oder vielmehr auf eine in m' auf der Ebene acb normal stehende Linie beschränkt und nicht etwa auf einen Streifen von der Breite $e_3 f$ ausdehnt. Denn nur für einen innerhalb dieses Streifens liegenden Punkt ist, wenn $e_3 f$ normal auf dm' gezogen wird, fh genau gleich 0 oder gleich $^1/_2$ oder gleich 1 oder gleich $1^1/_2$ Wellenlängen u. s. w. Von jedem Minimum, von jeder Schattenlinie findet ein allmähliches Anwachsen der Helligkeit bis zum nächsten Maximum statt.

Die Lichteffekte der Strahlen, welche nicht in der Normalebene acb liegen, wollen wir jetzt auf sich beruhen lassen; dieselben sind in ähnlicher Weise wie vorstehend zu ermitteln.

Das Ergebniss dieser Untersuchung ist nun folgendes. Ein Lichtstrahl cdc_3e_3, welcher auf eine Schicht de_3 von Massentheilchen eines anderen Mediums trifft, setzt diese Theilchen in Schwingungen und bewirkt, dass dieselben nach allen Richtungen Strahlen aussenden. Durchwandert man alle diese Richtungen dg; so wechseln in denselben unaufhörlich Lichtmaximen mit Lichtminimen oder Lichtstreifen mit Schattenstreifen ab. Die Maximen erreichen zweimal einen höchsten Werth: einmal, für den oberhalb der Ebene ab liegenden Strahl dg, für welchen der Winkel $gdb = cda$ ist und einmal für den unterhalb der Ebene ab liegenden Strahl dg', welcher die Fortsetzung des Strahles cd bildet. Für den längs der Ebene ab in der Richtung db oder da fortlaufenden Strahl nehmen jene Maximen den Minimalwerth null an. Von jenen höchsten zu diesen niedrigsten Stärken

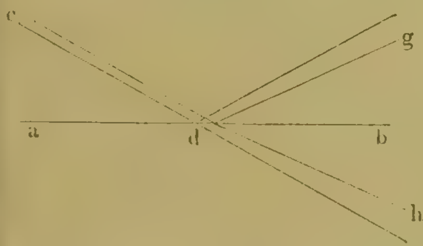
der Lichtstreifen findet ein Übergang statt, welcher in der nächsten Nähe jener höchsten Werthe, nämlich beim Überschreiten der Neigung, wofür fh gleich einer Wellenlänge ist, den Charakter eines plötzlichen Abfalles hat.

Von den oberhalb der Ebene ab liegenden Strahlen belegt man zwar vorzugsweise den Strahl, für welchen der Austrittswinkel gdb dem Eintrittswinkel gleich ist und welcher eine ausserhalb des analytischen Gesetzes jener Maximen liegende Intensität hat, wegen seiner hervortretenden Intensität mit dem besonderen Namen des reflektirten Strahles: allein was die Entstehung betrifft; so verdanken alle übrigen Strahlen, welche in die Klasse der diffundirten gehören, ihr Dasein genau demselben Vorgange. Das Phänomen kann übrigens nicht schon in Punkten lebhaft hervortreten, welche nahe vor der Ebene ab liegen; dasselbe wird am deutlichsten für feine Strahlen und für entfernte Punkte.

Wenngleich die Lehrbücher der Physik diese reflektirten oder diffundirten Strahlen mit abwechselnder Maximal- und Minimalwirkung nicht kennen; so werden sich dieselben einer aufmerksamen Beobachtung sicher nicht entziehen.

Abstrahirt man von dem Wechsel der Licht- und Schattenstrahlen und beachtet, dass die Lichtwirkung in den Richtungen, welche sich von dem Reflexionswinkel entfernen, bald sehr schwach wird; so besteht das Charakteristische der vorstehenden Abprallung des Lichtes darin, dass der durch einen feinen parallelen Strahl cd (Fig. 9) erzeugte reflektirte Strahl dg ein nach oben sich erweiterndes kegelförmiges Strahlenbündel darstellt.

Fig. 9.



Ebenso pflanzt sich der Strahl cd unterhalb der Fläche ab, wenn das darunter liegende Medium dem darüber liegenden gleich ist, nicht als paralleles, sondern ebenfalls als ein konisch sich erweiterndes Bündel fort.

Ein jeder solcher Kegel ist in der Axe am hellsten und seine Helligkeit nimmt nach den Seiten bis zur nächsten Schattenlinie allmählich ab. In der That giebt die obige Betrachtung über die Erregung des Theilchens m' in Fig. 8 durch alle von de_3 ausgehenden Strahlen dasselbe Resultat, ob m' ein wenig rechts von der Linie dg innerhalb des Prismas de_3g_3 oder ein wenig links von jener Linie, also ausserhalb dieses Prismas liegt.

Es ist noch hervorzuheben, dass wenn das Licht aus Strahlen von verschiedener Wellenlänge oder Farbe besteht, die vorstehenden Gesetze zunächst für jede einzelne Farbe gelten. Decken sich nun die von den einzelnen Farben erzeugten dunkelen und hellen Streifen partiell; so wird das Phänomen zwar in seiner Allgemeinheit fortbestehen: die dunkelen und hellen Streifen werden sich aber verbreitern, allmählicher ineinander übergehen und einen Farbenwechsel zeigen. Etwas

Ähnliches wird auch eintreten, wenn die dunkelen und hellen Streifen der einzelnen Farben auseinander fallen, indem alsdann vermöge der Regelmässigkeit der aufeinander folgenden Linien jeder einzelnen Farbe wiederum eine Regelmässigkeit in dem Intensitäts- und Farbenwechsel der Gesammterscheinung hergestellt wird.

Schliesslich bemerke ich, dass die Ursache der Reflexion und Diffusion des Lichtes auf der Grenze zweier Medien nicht ausschliesslich durch diejenigen Störungen des Vibrationszustandes bedingt ist, welche aus dem Übergange der Schwingungen aus den Theilchen des einen Stoffes in die Theilchen eines anderen Stoffes entspringen. Auch wenn der zweite Körper gar nicht für Licht empfänglich wäre, wie es bei einem schwarzen Körper näherungsweise der Fall ist, oder wenn das erste Medium durch einen absolut leeren (auch ätherlosen) Raum begrenzt wäre, würde auf der Grenze Reflexion und Diffusion stattfinden, weil die Äthertheilchen der Grenzschicht, welchen die Gelegenheit genommen wäre, die empfangenen Lichtimpulse in direkter Richtung fortzupflanzen, genöthigt würden, die auf sie sich entladenden Arbeitsgrössen nach anderen Richtungen zu zersprengen.

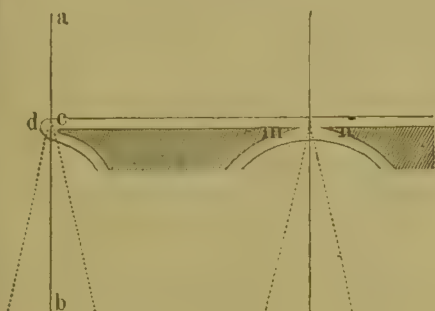
7. Beugung. Wenn ein Körper eine scharfe Kante besitzt, welche einen sehr spitzen Winkel bildet; so werden die in diesem dünnen hervorragenden Theile liegenden Moleküle durch einen darauffallenden Lichtstrahl in höherem Grade zum Selbstleuchten gebracht werden, als die in einer geschlossenen ebenen Fläche eines solchen Körpers liegenden. Eine scharfe Kante wird also schon wegen der entschiedeneren Isolirung ihrer Moleküle stärkere Seitenstrahlen nach allen Richtungen erzeugen, wie eine reflektirende Oberfläche.

In hohem Grade steigert sich aber dieses Phänomen, wenn der starre Körper, welcher vom Lichte getroffen wird, in ein gasförmiges Medium gehüllt ist. Jede zwei sich berührenden Körper äussern eine Wirkung aufeinander, welche zur Folge hat, dass eine unmittelbar an der Berührungsfläche liegende dünne Schicht eines jeden ihre materielle Beschaffenheit mehr oder weniger ändert. Die Adhäsion ist nur eins und zwar ein sehr bemerkbares Resultat der gegenseitigen Einwirkung solcher Körper, welches ausschliesslich die dünnen Schichten an der Berührungsfläche betrifft. Offenbar wird die Veränderung, welche die Grenzschicht des umhüllenden Körpers erleidet, im Vergleich zu der Beschaffenheit, welche dessen Moleküle in seiner Mitte besitzen, am grössten sein, wenn dieser einhüllende Körper gasförmig, also von äusserst geringer Masse ist, während der eingehüllte Körper starr, also sehr massenhaft und zugleich von einer möglichst verschiedenen Molekularanordnung (Struktur, Krystallisation u. s. w.) ist. In der Wirklichkeit wird das umhüllende Medium gewöhnlich aus Luft bestehen: übrigens könnte auch der reine Äther an die Stelle dieses Mediums treten.

Fig. 10 stellt bei c die Kante eines starren Körpers mit der veränderten Grenzschicht des umhüllenden Mediums dar, welches Letztere wir der Kürze wegen mit Luft bezeichnen wollen. Wenn ein Lichtstrahl a nahe an dieser Kante vorbeistreift, trifft er auf der ganzen Strecke von c bis d auf die veränderte Luftschicht, erleidet hier also eine Störung

welche eine Zersplitterung der Lichtthätigkeit nach den Seitenrichtungen zur Folge hat, also den zwischen *c* und *d* liegenden Lufttheilchen die Eigenschaft des Selbstleuchtens oder der Diffusion in höherem Grade verleiht, als sie die auf dem übrigen Wege des Strahles *ab* getroffenen Lufttheilchen besitzen können.

Fig. 10.



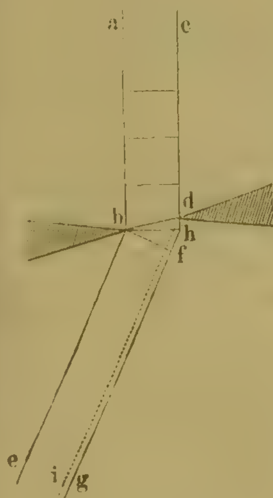
Von einer solchen Kante aus werden also Seitenstrahlen nach allen Richtungen entstehen. Man nennt diese Ablenkung des Lichtes an den Kanten der Körper Beugung oder Inflexion, auch wohl Diffraktion.

Ganz besonders interessant werden die Beugungserscheinungen, wenn sich der einen Kante in sehr naher Entfernung eine zweite gegenüberstellt. In diesem bei *mn* dargestellten Falle vereinigen sich die veränderten Luftschichten der beiden Körpertheile zu einer zusammenhängenden Schicht *mn*, welche die enge Spalte zwischen *m* und *n* verschliesst. Zu einer solchen Vereinigung ist grosse Scharfkantigkeit der Ecken *m* und *n* nicht einmal eine nothwendige Bedingung: wohl aber bewirkt die feine Schärfe dieser Ecken möglichste Gleichförmigkeit in der Dicke der veränderten Schicht zwischen *m* und *n*.

Beim Durchgange eines Lichtstrahles oder eines parallelen Lichtbündels durch die Öffnung *mn* werden also aus den mehrfach erläuterten Gründen die darin liegenden Theilchen mehr oder weniger selbstleuchtend werden und Seitenstrahlen erzeugen, deren Natur sich nach der vorhergehenden Nummer leicht beurtheilen lässt.

abcd (Fig. 11) sei ein paralleles Strahlenbündel und die normal gezeichneten Querschnitte liegen in den Abständen einer Wellenlänge, also in Entfernungen von ungefähr $^1/_{2000}$ Millimeter. Es ist klar, dass keine menschliche Kunst im Stande sein würde, eine Spalte *bd* zu schaffen, deren Kanten *b* und *d* nicht einen Höhenunterschied besässen, welcher einen erheblichen Theil einer solchen Wellenlänge oder gar mehrere Wellenlängen ausmacht. Ist also *bh* der Querschnitt des Strahles von gleicher Phase; so wird in dem wirklichen Querschnitte *bd* der Spalte bei *d* eine ganz andere Phase herrschen, als bei *b*. Es ist nun von besonderer Wichtigkeit, dass die Neigung des Querschnittes der Spalte *bd* gegen die Wellenfläche *bh* des Strahles für die Beugungserscheinungen ganz irrelevant ist, vorausgesetzt nur, dass diese Neigung an und für sich gering ist, was man immer annehmen kann. Denn wenn die veränderte Luftschicht *bd* von gleichförmiger Dicke

Fig. 11.



ist, setzen sich die Strahlen nach der Durchdringung derselben in den früheren Richtungen und Phasen fort; es bleibt also *bh* die Richtung der Wellenoberfläche. Ein unter der Richtung *bc* abgelenkter oder gebeugter Strahl muss nun streng genommen von dem Querschnitte *bd* aus gerechnet werden; es handelt sich also um den von den Linien *bc* und *di* begrenzten Strahl.

Zieht man in diesem Strahle von *b* aus nach der gegenüberliegenden Grenzlinie *di* einmal die Linie bh' parallel zur Wellenoberfläche und einmal die Linie bf' normal auf *di* (wegen der Kleinheit der Figur haben wir die beiden Buchstaben h' und f' nicht in dieselbe eingetragen); so ist es für die Lichtstärke dieses Strahles entscheidend, ob die Länge $h'f'$ gleich 0 oder gleich $^1/_2$ oder gleich 1 oder gleich $1^1/_2$ u. s. w. Wellenlängen ist. Offenbar ist aber, wenn man für den Strahl *bcdi* den Strahl *behg* an die Stelle setzt, in Betracht des sehr kleinen Neigungswinkels *dbh* und der ebenfalls sehr geringen Abweichung der in Betracht kommenden Strahlen von der Richtung *ab* des Hauptstrahles die Linie *hf* von der Linie $h'f'$ so äusserst wenig verschieden, dass man die eine für die andere nehmen kann.

Für die wahre Spalte *bd* kann man also, trotz des erheblichen Phasenunterschiedes, welcher in derselben herrschen kann, den normalen Querschnitt *bh* des Strahles, in welchem überall dieselbe Phase herrscht, substituiren. Die Ablenkungswinkel der gebeugten Strahlen werden dann auch gegen die Richtung des Hauptstrahles *ab*, nicht gegen die Richtung der Spaltfläche gemessen.

Aus der vorhergehenden Nummer folgt, dass wenn $hf = 0$ ist, die Lichtstärke des gebeugten Strahles am grössten ist; für $hf = 1$ Wellenlänge sinkt diese Stärke auf null herab. Das Nämliche ereignet sich für $hf = 2, 3, 4 \ldots$ Wellenlängen. Für $hf = 1^1/_2,\ 2^1/_2,\ 3^1/_2 \ldots$ Wellenlängen wird jene Stärke ein Maximum, dessen absoluter Werth allmählich immer tiefer herabsinkt.

Hiermit sind die Schattenlinien und die dazwischen liegenden hellen Streifen, deren grösste Leuchtkraft in der Mitte liegt, indem sie nach den Schattenlinien hin allmählich abnehmen, also die Hauptsachen der Beugungserscheinungen erklärt.

Wenn die feine Öffnung keine lang gedehnte Spalte, sondern eine beliebige Figur ist, von welcher auch die zweite Dimension nicht gross ist, wenn die Fläche *bh* z. B. ein kleines Parallelogramm darstellt; so muss selbstredend die Gesammtwirkung aller in der Fläche *bh* liegenden Theilchen auf irgend einen ausserhalb liegenden Punkt berücksichtigt werden, um die in diesem Punkte erzeugte Helligkeit zu bestimmen. Hierdurch ist es möglich, die nach beiden Dimensionen sich ausbreitenden Beugungsfiguren zu konstruiren.

Aus Vorstehendem ist leicht ersichtlich, dass wenn die Breite der Beugungsspalte zunimmt, die Entfernung zwischen den Schattenlinien abnimmt, das Phänomen also an Deutlichkeit verliert.

Wenn das einfallende Strahlenbündel nicht aus parallelen, sondern aus konischen Strahlen zusammengesetzt ist, wenn also die Spalte von einer leuchtenden Fläche ihr Licht empfängt; so gehört jeder der un-

endlich vielen Strahlenrichtungen ein besonderes System von Licht- und Schattenlinien an, welche sich stetig aneinanderreihen. Hierdurch werden die Schattenlinien zu Schattenstreifen; dieselben werden aber mehr oder weniger von den Lichtstreifen überdeckt. Hieraus entspringt, wenn der Kegel des einfallenden Lichtes noch ziemlich klein ist, ein dem Beugungsphänomene ähnlicher, aber schwächerer und allmählicherer Helligkeitswechsel, welcher immer mehr verschwindet, je grösser die fragliche Divergenz der Strahlen wird. Erreicht der Divergenzwinkel erst die Grösse, bei welcher der mittelste und hellste Lichtstreifen für die am weitesten nach rechts geneigten Strahlen den ganzen Raum zwischen der ersten und zweiten Schattenlinie der am weitesten nach links geneigten Strahlen überdeckt; so wird das Auge das gebeugte Licht auf eine ziemliche Breite in der Mitte für gleichförmig und alsdann für gleichmässig abnehmend halten.

Ebenso leuchtet ein, dass wenn das einfallende Licht aus Strahlen von verschiedener Wellenlänge, Vibrationsgeschwindigkeit oder Farbe besteht, ein ähnlicher Effekt wie beim divergenten Lichte entsteht, welcher die Schärfe der Erscheinung vermindert.

8. Ausbreitung des Lichtes. Pflanzt sich nun ein Lichtstrahl in einem ganz gleichartigen Medium fort; so werden, wenn dieses Medium der reine Äther ist, alle Seitenablenkungen so gering sein, dass sie für unser Auge wie nicht vorhanden angesehen werden können. Der einfache Strahl oder das parallele Strahlenbündel pflanzt sich alsdann ungeschwächt in gerader Linie und das von einem leuchtenden Punkte ausgehende konische Strahlenbündel unter Bewahrung seiner gesammten radial gerichteten Lichtthätigkeit fort.

Ist das Medium aber irgend ein physischer Körper, Luft, Wasser, Glas u. s. w.; so tritt die obige Zerstreuung, wenngleich schwächer als bei der Reflexion und Beugung, aber doch immer mit wahrnehmbaren Wirkungen hervor.

Lässt man die geringe Schwächung ausser Acht, welche ein paralleles Strahlenbündel in einem gut durchsichtigen Medium wie Luft und Glas auf eine mässige Entfernung durch Absorption und Diffusion erleidet, denkt man sich also die Leuchtkraft des Strahles in allen seinen Längenelementen als gleich; so wird derselbe offenbar von jedem Stücke seiner Länge, welches eine bestimmte Ausdehnung hat, insofern diese Ausdehnung eine ganze Zahl von Wellenlängen umfasst, in einer gegebenen Richtung genau denselben Seitenstrahl aussenden. Je grösser der Ablenkungswinkel genommen wird, desto schwächer wird die Intensität dieser Seitenstrahlen sein.

Ist ab, Fig. 12 (a. f. S.), dieser Strahl, welcher sich von a aus in dem gleichartigen Medium fortpflanzt und ist cd die grösste Ablenkung, welche noch eine wahrnehmbare Wirkung hervorbringt; so wird der Punkt c die Lichtwirkung des Strahltheiles da, der Punkt e dagegen nur die Wirkung des Strahltheiles fa empfangen. Dieser letztere Theil ist nicht bloss kürzer als der erstere, die wirksamste Richtung ea bildet auch eine stärkere Ablenkung, giebt also schwächeres Licht, als die wirksamste Rich-

tung *ca* für den ersten Punkt: ausserdem sind alle Lichtwege nach dem Punkte *e* länger, als nach *c*. Demgemäss wird der Punkt *e* umso schwächer erleuchtet werden, je entfernter er vom Strahle liegt. Für mässige Entfernungen *bc* vom Strahle wird übrigens der Unterschied der Erleuchtung sehr unbedeutend sein.

Fig. 12.



Der Gesammteffekt der Diffusion in einem gleichartigen Medium wird hiernach darin bestehen, dass der Strahl allerorten Seitenstrahlen entsendet, welche dieses Medium erleuchten. Diese Erleuchtung nimmt mit der Entfernung von dem Hauptstrahle allerdings ab, aber sehr allmählich.

Die Diffusion des Mediums bewirkt also eine gesetzmässige Ablenkung und Vertheilung des ursprünglich einem bestimmten Strahle angehörigen Lichtes. Ich nenne diese Erscheinung die Ausbreitung oder Expansion des Strahles.

Vermöge der Expansion geht der Strahl einer völligen Auflösung entgegen. Man hat nämlich in jedem Abstande von der Lichtquelle, welche den Hauptstrahl aussendet, das Licht des Hauptstrahles von dem durch Diffusion abgelenkten Lichte zu unterscheiden. Der Hauptstrahl behält in Beziehung auf alle wesentlichen Eigenschaften des Lichtes den Charakter eines mit zusammenhängender Wellenfläche sich direkt fortpflanzenden Strahles bei, besitzt also einen scharf begrenzten Querschnitt. Seine Intensität ist grösser als die des diffundirten Lichtes rings um ihn herum. Allmählich sinkt, selbst bei einem parallelen Strahlenbündel, die Intensität des Hauptstrahles in Folge der Diffusion und es wächst die Intensität des diffundirten Lichtes vermöge des Zusammenwirkens desselben. Endlich wird also eine Entfernung von der Lichtquelle erreicht werden, wo die Intensität Beider gleich wird. Von dieser Stelle an tritt der Hauptstrahl in seiner Wirkung gegen die des Diffusionslichtes immer mehr zurück; es verliert sich seine scharfe Begrenzung und jede charakteristische Eigenschaft: er löst sich in diffuses Licht auf.

Ein durchscheinender Körper und alle sogenannten undurchsichtigen Körper der physischen Welt sind nur durchscheinend, nicht absolut undurchsichtig, unterscheiden sich von einem durchsichtigen physischen Körper, welcher niemals vollkommen durchsichtig ist, dadurch, dass in dem ersteren die Expansion des Strahles so rasch vor sich geht, dass die Auflösung in diffuses Licht schon auf kurze Entfernung erfolgt, während im letzteren hierzu eine verhältnissmässig lange Strecke nöthig ist. Im Übrigen muss in jedem undurchsichtigen physischen oder in jedem durchscheinenden Körper auf eine gewisse kurze Strecke der direkte Strahl alle Eigenschaften der normalen Fortpflanzung zeigen.

Wenn man beachtet, dass ein abgelenkter Strahl in seinem Verlaufe wiederum abgelenkte Strahlen erzeugt; so ergiebt sich, dass die Diffusionswirkung eines Strahles ein sehr ausgedehntes Volum des Mediums

umfassen und dasselbe in den verschiedensten Richtungen durchdringen wird.

Diese Verbreitung des Lichtes nach allen Seiten ist die alleinige Ursache, dass durchsichtige Körper, wie die Luftatmosphäre, das Meer, ein Stück Glas durch einen einzigen Lichtstrahl, welcher in dieselben hineinfällt, in ihrer Gesammtmasse, mehr oder weniger, erhellt oder erleuchtet werden.

Auf dieser Verbreitung beruht die Tageshelle trotz der Verdeckung der Sonne durch Wolken. Ebenso beruht darauf das Phänomen der Dämmerung. Da aber der Grund dieser Verbreitung in der Erregung von Lichtvibrationen in jedem getroffenen Massetheilchen liegt; so braucht man zur Erklärung jener Erscheinungen nicht auf Hypothesen zu greifen, welche in jenen Körpern ein Konglomerat von harten Atomen vermuthen lassen, an welchen das Licht wie der Billardball an der Bande abprallt.

9. Refraktion oder Brechung. Wenn der Strahl aus einem Medium in ein anderes übergeht; so ist für den Übergang die Richtung des Querschnittes von gleicher Phase nicht mehr willkürlich, sondern durch die gemeinschaftliche Grenze der beiden Medien gegeben.

Bei der Umwandlung der Schwingungen des einen Mediums in die eines anderen muss sich ein sehr komplizirter Bewegungszustand, welcher durch das besondere Verhältniss des Äthers zum Ponderabelen in einem Massentheilchen des einen Mediums bedingt ist, in einen ebenso komplizirten Bewegungszustand des anderen Mediums verwandeln, und da der natürliche Schwingungszustand des einen Mediums dem des anderen nicht gleich ist; so müssen bei dieser Umwandlung die Wirkungen des Stosses, also die der Ablenkung oder Diffusion eine weit grössere Rolle spielen, als bei der Lichtverbreitung in einunddemselben Medium.

Der direkt fortgepflanzte Theil des Strahles mit seiner Diffusionsausbreitung wird also erheblich schwächer, dagegen der reflektirte Theil erheblich stärker werden.

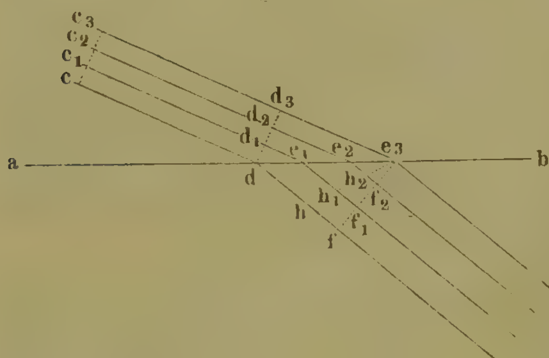
In Beziehung auf irgend einen der von dc_3 aus im ersten Medium verbreiteten, oder der in das erste Medium zurücktretenden, reflektirten oder diffundirten Strahlen dg (Fig. 5) haben wir dem Früheren nichts Wesentliches hinzuzufügen. Die von jenem Querschnitte aus in dem zweiten Medium sich verbreitenden Strahlen, also insbesondere der direkt fortgepflanzte Theil des einfallenden Strahles, erfordern jedoch noch eine besondere Betrachtung.

Es ist nämlich die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Lichtvibrationen fortpflanzen, von der Beschaffenheit des Mediums abhängig. Im Äther geht diese Fortpflanzungsgeschwindigkeit am raschesten vor sich und beträgt etwa 42000 Meilen pro Sekunde. In den physischen Körpern pflanzt sich das Licht langsamer fort, in den tropfbaren und starren langsamer als in den gasförmigen, und überhaupt hat im Allgemeinen eine Verdichtung desselben Mediums eine Verlangsamung zur Folge. So beträgt z. B. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in der Luft von der im Äther $\frac{1}{1,000294}$ (also etwa 12 Meilen weniger), im Wasser

$\frac{1}{1,33} = $ ppr. $\frac{3}{4}$ oder etwa 31500 Meilen, im Glase etwa $\frac{1}{1,6} = $ ppr. $\frac{5}{8}$ oder etwa 26000 Meilen.

Ist also in Fig. 13 dh die Richtung irgend eines im zweiten Medium sich fortpflanzenden Strahles, dessen normaler Querschnitt $e_3 f$ ist, während $d d_3$ den normalen Querschnitt des Strahles im ersten Medium darstellt; so wird unter der Zeit, wo sich die Phase im ersten Medium von d_3 bis e_3 fortpflanzt, im zweiten Medium dieselbe Phase von d bis h fortpflanzen. Es wird jetzt aber dh nicht mehr gleich $d_3 e_3$, sondern $= \frac{1}{n} \cdot d_3 e_3$ sein, wenn n das Verhältniss ausdrückt, in welchem die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im ersten Medium zu der im zweiten steht.

Fig. 13.



Zieht man die gerade Linie $e_3 h$; so werden gleichzeitig die Phasen von d_1 und d_2 nach h_1 und h_2 gelangen: es werden also in dieser Linie überall gleiche Phasen herrschen. Da nun der normale Querschnitt des fortgepflanzten Strahles in $e_3 f$ liegt; so zeigt man ebenso wie früher, dass der Lichteffekt dieses Strahles umso schwächer ist, je weiter sich die Richtungen $e_3 h$ und $e_3 f$ voneinander entfernen, auch dass mit der Variation des Neigungswinkels bdh oder der Länge fh abwechselnd Licht- und Schattenstrahlen entstehen.

Den höchsten Lichteffekt von den im zweiten Medium fortgepflanzten Strahlen zeigt derjenige, für welchen $fh = 0$ ist. Bezeichnet man den Neigungswinkel des Strahles cd gegen die Ebene ab mit α und gegen die Normale auf dieser Ebene mit α', ferner den Neigungswinkel des Strahles dh gegen die Ebene ab mit β und gegen die Normale darauf mit β'; so hat man $dh = \frac{1}{n} \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} df$, folglich

$$fh = \left(1 - \frac{1}{n} \frac{\cos\alpha}{\cos\beta}\right) df$$

Damit $fh = 0$ werde, muss

$$\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} = \frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'} = n$$

sein.

Von den im zweiten Medium fortgepflanzten Strahlen ist also derjenige der kräftigste, für welchen das Verhältniss des Sinus des Eintrittswinkels gegen die Normale zum Sinus des Austritts- oder Brechungswinkels gegen dieselbe Normale gleich dem Verhältnisse n ist, in welchem die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im ersten Medium zu der im zweiten steht. Dieser Strahl heisst der gebrochene und n ist das relative

Brechungsverhältniss (Brechungsquotient, Brechungsexponent) für den Übergang vom ersten in das zweite Medium. Man sieht aber, dass Brechung oder Refraktion im Prinzipe nichts Anderes ist, als Spiegelung oder Reflexion, auch nichts Anderes als Zerstreuung oder Diffusion, und nichts Anderes als Beugung oder Inflexion, dass nämlich alle diese Erscheinungen nur Spezialitäten des allgemeinen Gesetzes der Lichtverbreitung sind.

Dabei heben wir wiederholt die Umwandlung hervor, welche das Licht bei der Begegnung eines anderen Mediums erleidet, indem sich die Vibrationen des ersten Mediums mit den natürlichen Vibrationen des zweiten Mediums kombiniren. Aus dieser Konkurrenz gehen theils solche einfachen Schwingungen hervor, welche dem Lichte im ersten Medium entsprechen, theils solche, welche dem natürlichen Vibrationszustande des zweiten Mediums angehören, theils entstehen neue Schwingungen, theils werden gewisse Schwingungen des Lichtes im ersten Medium unterdrückt, theils kommen manche Schwingungen des natürlichen Vibrationszustandes des zweiten Mediums nicht zur Geltung. Alles Dieses ist eine Umwandlung des erregenden Lichtes und wird durch die Gesetze, welche die Materie konstituiren, nothwendig bedingt.

In welchem Masse die eine oder die andere dieser Veränderungen, welche die Umwandlung des Lichtes ausmachen, stärker hervortritt, hängt von manchen Nebenumständen ab. Im Allgemeinen ist aber klar, dass diejenigen Schwingungen des erregenden Mediums, welche dem natürlichen Vibrationszustande des erregten Mediums schroff widersprechen, nicht in diesem Medium fortgepflanzt werden, also nicht in den gebrochenen Strahl eintreten, sondern theils vernichtet oder absorbirt, theils in das erste Medium diffundirt werden, also auch in den reflektirten Strahl eintreten, ferner dass Schwingungen, welche dem natürlichen Vibrationszustande des zweiten Mediums gut entsprechen, auch gut direkt fortgepflanzt werden, also hauptsächlich in den gebrochenen Strahl eintreten. Gleichzeitig entstehen im reflektirten und im gebrochenen Strahle neue Schwingungen, welche weder dem Lichte im ersten, noch dem natürlichen Vibrationszustande des zweiten Mediums angehören. Solche neuen oder fremden Schwingungen treten umso mehr auf, je mehr der Vibrationszustand im erregenden Medium dem natürlichen Vibrationszustande des erregten Mediums widerstreitet, und mit diesem Erscheinen neuer Farben ist selbstverständlich ein grösserer Lichtverlust verbunden.

Nach Vorstehendem wird also das eigentliche diffundirte Licht vorzugsweise die natürlichen Farben des erregten Körpers, vermischt mit Farben des erregenden Lichtes und fremden Farben enthalten; der reflektirte Strahl wird vorzugsweise die Farben des erregenden Lichtes, vermischt mit natürlichen Farben des erregten Körpers und mit fremden Farben besitzen; der gebrochene Strahl dagegen wird die natürlichen Farben des erregten Mediums in starker Vermischung mit Farben des erregenden Mediums und mit fremden Farben aufzeigen.

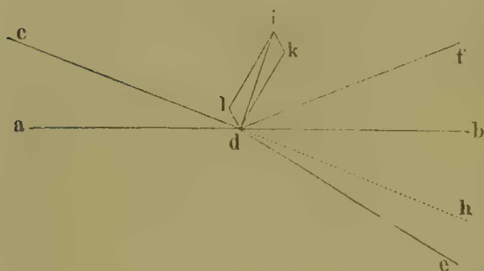
Bei dem Prozesse, welcher von einem auf der Grenze zweier Medien liegenden Theilchen ausgeht, spielt sowohl der natürliche Schwin-

gungszustand des ersten wie auch der des zweiten Mediums eine Rolle; es ist aber klar, dass bei den Strahlen, welche in das erste Medium zurücktreten, der erste und bei denen, welche in das zweite Medium eintreten, der zweite Zustand vorwalten wird. Hieraus erhellt, dass wenn z. B. ein rother Strahl von einem blauen Körper reflektirt wird, dieser Strahl zwar vorzugsweise, aber nicht ausschliesslich rothes, sondern auch blaues Licht enthalten wird, ferner, dass wenn ein rother Strahl von einem durchsichtigen blauen Körper gebrochen wird, der gebrochene Strahl zwar vorzugsweise, aber nicht ausschliesslich blaues, sondern auch rothes Licht enthalten wird.

10. Palarisation. Die gewöhnlichen Lichtschwingungen sind Transversalschwingungen, d. h. sie gehen in Richtungen vor sich, welche normal auf der Fortpflanzungsrichtung stehen. Liegen alle Schwingungen in einer einzigen Ebene; so heisst der Strahl polarisirt und diese Ebene die Schwingungsebene. Meistentheils, namentlich bei dem gewöhnlichen Sonnenlichte, erfolgen die auf der Axe normal stehenden Schwingungen nach allen Seiten rings um die Axe herum. Ein solcher Strahl kann also als eine Vereinigung von polarisirten Strahlen angesehen werden.

Wenn ein polarisirtes Strahlenbündel *cd* (Fig. 14), dessen Schwingungsebene die Papierfläche unserer Figur ist, bei *ab* auf ein anderes Medium trifft; so wird sich für jeden Strahl wie z. B. *df*, welcher von dem Theilchen *d* erregt werden soll, die Schwingungsrichtung ändern müssen, weil diese Richtung immer normal auf der Fortpflanzungsrichtung oder auf der Axe *df* des Strahles stehen muss. Offenbar werden von *d* aus diejenigen Fortpflanzungsrichtungen bevorzugt werden, welche die geringste Änderung der Schwingungsrichtung erfordern. Die meist begünstigte ist die direkte Fortsetzung *dh* der Richtung des einfallenden Strahles *cd*. Trotz dieser Bevorzugung kann der Lichteffekt in dieser Richtung nach den früheren Untersuchungen nicht bedeutend werden im Vergleich zu dem Effekte, welcher sich in der Brechungsrichtung *de* vermöge der Zusammenwirkung aller elementaren Strahlen erzeugen wird.

Fig. 14.



Da nun ausserdem die Richtung des gebrochenen Strahles *de* nicht sehr bedeutend von der Richtung *dh* abweichen, also keine sehr erhebliche Änderung der Schwingungsrichtung erfordern wird; so übersieht man, dass immer eine so namhafte Menge von Schwingungen sich in der Richtung des gebrochenen Strahles fortpflanzen wird, um daselbst einen starken Lichteffekt hervorzubringen.

Hierbei kömmt aber noch ein wesentlicher Umstand in Betracht. Der Übergang aus dem einen Medium in ein anderes ist ein gewisses Hinderniss der Bewegung. Dieses Hinderniss wird unzweifelhaft in den-

jenigen Richtungen am leichtesten besiegt, wo alle sich berührenden Theilchen der nebeneinander liegenden elementaren Strahlen sich stets in derselben Phase befinden. Dieses ist aber nur in der Richtung des gebrochenen Strahles *de* der Fall. Hiernach konkurrirt die Richtung *de* des gebrochenen Strahles mit der direkten Richtung *dh* des einfallenden Strahles in solchem Grade, dass ihr in der Wirklichkeit die meisten Strahlen zufallen, welche dann ausserdem noch wegen der Gleichheit ihrer Phasen den stärksten Effekt hervorbringen.

Ebenso ist von den Richtungen der in das erste Medium diffundirenden Strahlen die des reflektirten Strahles *df* diejenige, in welcher die Diffusion mit der grössten Leichtigkeit erfolgt, in welcher sich also die Bewegung vorzugsweise fortpflanzen wird.

Überhaupt aber ist klar, dass immer mehr Neigung vorhanden ist, die Fortschrittsbewegung innezuhalten, als davon abzuweichen, dass also im Allgemeinen die Richtung des gebrochenen Strahles *de* vor der des reflektirten *df* begünstigt ist.

Die Änderung der Richtung einer Kraft in eine andere Richtung ist Zerlegung dieser Kraft in zwei Komponenten, von welchen die eine der zweiten gegebenen Richtung parallel ist, während die andere einer dritten Richtung parallel sein muss. Bei dem Übergange einer Schwingung des Strahles *cd* in irgend einen anderen Strahl *de* (welcher nicht mit *dh* zusammenfällt) muss also nothwendig eine Zerlegung stattfinden, welche einen dritten Strahl *df* erzeugt. Die Kraft *di*, welche den Ausschlag im Strahle *cd* erzeugt, zerlegt sich in die beiden Kräfte *dk* und *dl*, welche die Strahlen *de* und *df* erzeugen, auf welchen sie normal stehen.

Nun repräsentiren *de* und *df* zwar nicht die einzigen, aber doch die Hauptrichtungen, in welchen die Zerlegung des Lichtes vor sich geht und es ist klar, dass hiervon die Richtung *de* einen umso grösseren und die Richtung *df* einen umso kleineren Antheil empfangen wird, je mehr die Richtung *df* sich der normalen auf *de* nähert. Denn in diesem Falle erfordert der Abgang von Schwingungen aus der am meisten begünstigten Richtung *de* eine Abweichung um 90 Grad, was aus mechanischen Gründen mehr Schwierigkeit macht, als eine Abweichung unter einem spitzen oder unter einem stumpfen Winkel. (Der scheinbare Rückschritt unter einem stumpfen Winkel ist bei der Fortpflanzung von Vibrationen bekanntlich kein grösseres Hinderniss als der Fortschritt unter dem spitzen Nebenwinkel).

Der gebrochene Strahl, welcher überhaupt die meist begünstigte Fortpflanzungsrichtung darstellt, in welcher sich die Lichtwirkung zu vereinigen strebt, wird also sein Maximum erreichen, wenn der Einfallswinkel *cda* von der Art ist, dass sich der reflektirte Strahl *df* normal auf den gebrochenen *de* stellt. Indem der gebrochene Strahl sein Maximum erreicht, nimmt der reflektirte sein Minimum an.

Unter solchen Umständen tritt denn der polarisirte Strahl, dessen Schwingungsebene die Papierfläche ist, in der Wirklichkeit fast ganz in das zweite Medium ein und der reflektirte Strahl ist kaum wahrnehmbar.

Steht die Schwingungsebene des polarisirten Strahles *cd* dagegen normal auf der Papierfläche; so ist weder bei der Brechung, noch bei

der Reflexion eine Änderung der Schwingungsrichtung erforderlich. Ei solcher Strahl wird also in allen Fällen theils gebrochen, theils reflektir Allein es ist klar, dass da der Eintritt in das zweite Medium immer ei Hinderniss ist, diese Schwingungen sich mit einer verhältnissmässige Leichtigkeit in dem ersten Medium diffundiren werden, dass also i allgemeinen der reflektirte Strahl stärker sein wird, als der ge brochene.

Aus Vorstehendem folgt dann ferner, dass wenn *cd* ein gewöhn licher Lichtstrahl ist, welcher Schwingungen nach allen Seiten hat, de gebrochene Strahl *de* vorzugsweise die Schwingungen aufnehmen wir welche in der Brechungsebene liegen, der reflektirte Strahl *d* dagegen vorzugsweise die normal darauf stehenden, dass also beid Strahlen mehr oder weniger stark polarisirt sein werden.

11. Dispersion. Wir haben gesehen, dass die Lichtbewegung in de physischen Körpern ein Hinderniss findet, welches auch die Fortpflan zungsgeschwindigkeit verzögert. Diese Verzögerung, welch die Ursache der Brechung des Lichtes beim Übergange aus einem Me dium in ein anderes ist, hat für verschiedene Körper sehr verschieden Werthe. Aber selbst in einunddemselben Körper ist diese Verzögerun nicht für alle Farben gleich. Nur im reinen Äther pflanzen sich all Farbenstrahlen mit der nämlichen Geschwindigkeit von 42000 Meile fort: in jedem physischen Körper jedoch, z. B. in Glas, werden die ra scher vibrirenden, also die violetten Strahlen mehr verzögert, al die langsamer vibrirenden, also die rothen. Die rothen pflanzen sic daher im Glase rascher fort als die violetten. Diesem gemäss werde beim Übergange in ein anderes Medium die violetten Strahlen stärke gebrochen als die rothen; es erfolgt eine Trennung aller Farben ode aller Strahlen von verschiedener Vibrationsgeschwindigkeit; es bildet sic das sogenannte Farbenspektrum; diese Zerlegung des zusammengesetz ten Lichtes in seine elementaren Bestandtheile heisst Dispersion.

Das Wort Zerstreuung wird in der Theorie des Lichtes in Ver wirrung erregender Weise bald für Diffusion, bald für Dispersion ge braucht. Man sollte lediglich die Diffusion Zerstreuung, die Dis persion dagegen Zerlegung und die Expansion Ausbreitun nennen.

Es leuchtet ein, dass die Dispersion nicht bloss für die äusserste rothen und violetten, sondern auch für die zwischenliegenden Strahle nach der Beschaffenheit des brechenden Körpers verschieden sein muss Man findet zwar häufig die Annahme ausgesprochen, dass die gasförmi gen Körper, z. B. die Luft, das Licht nicht dispersire (Höhere Opti von Beer, S. 34 und 35, nach Arago und Biot laut Gilb. Ann. S. 12 und 126). Diess würde voraussetzen, dass beim Übergange vom Äthe jeder Lichtstrahl, unabhängig von seiner Vibrationsgeschwindigkeit in de Luft und in jedem Gase gleichmässig verzögert werde. Ich halte Dies für schlechterdings unmöglich: denn da überhaupt die Beschaffenhe der physischen Gase eine Verzögerung der Fortpflanzung bewirkt und d die flüssigen und starren Körper lehren, dass das Hinderniss des Ponde rabelen die Strahlen von verschiedener Vibrationsgeschwindigkeit ve

schieden affizirt; so können die Gase, indem sie dem ersten Theile dieses Naturgesetzes folgen, keine prinzipielle Ausnahme für den zweiten Theil machen. Man kann nur annehmen, dass die Dispersion der Gase gering ist, sodass sie sich den gewöhnlichen Beobachtungen entzieht, was auch sehr erklärlich ist, da ja die mittlere Brechung in der Luft selbst äusserst gering ist. Übrigens fehlt es, wie ich geraume Zeit nach der Niederschreibung der vorstehenden Behauptung in Erfahrung gebracht habe, durchaus nicht an positiv bestätigenden Thatsachen. Ein tief stehender Stern erscheint in einem stark vergrössernden Fernrohre nicht als Punkt, sondern vermöge der atmosphärischen Refraktion als eine vertikale Linie, und zwar als eine Linie mit prismatischen Farben, welches Letztere die atmosphärische Dispersion direkt beweis't. Bessel (populäre Vorlesungen, S. 567) schätzt diese Dispersion der Luft auf $^1/_{80}$ der durch die Brechung hervorgebrachten Ablenkung.

Eine besondere Wichtigkeit für unsere späteren Untersuchungen (§. 8 No. 20 bis 23) hat die Frage, ob sich die Dispersion desselben Körpers mit zunehmender Dichtigkeit vermehrt oder vermindert. Ich bin der Ansicht, dass die Dispersion das umgekehrte Gesetz wie die Brechung befolgt, dass also, während die Brechung mit der Dichtigkeit zunimmt, die Dispersion abnimmt und umgekehrt, dass während die Brechung mit der Verdünnung abnimmt, die Dispersion zunimmt.

Diesen Schluss ziehe ich aus den Beobachtungen von Powell, welche in der „Einleitung in die höhere Optik von Beer, S. 412“ mitgetheilt sind. Leider finden sich in dieser Tafel nur Versuche mit zwei Körpern, an welchen die Dispersion unter verschiedenen Temperaturen, also unter verschiedenen Dichtigkeitsgraden angestellt sind; diese Versuche beziehen sich auf Anisöl und Kassiaöl und enthalten für die beiden äussersten Linien B und H des Spektrums folgende Zahlen.

	Temperatur	Brechungskoeffizient des Strahles		Die Dispersion beträgt also
		B	H	
Anisöl . . .	13,25° C	1,5482	1,6066	0,0584
	15,1°	1,54865	1,60842	0,05977
	20,9°	1,54507	1,60527	0,06020
Kassiaöl . .	10°	1,5963	1,7039	0,1076
	14°	1,5945	1,7025	0,1080
	22,5°	1,5895	1,6985	0,1090

Die erste Beobachtung an dem Anisöl erscheint nicht ganz zuverlässig, weil sich dabei die Anmerkung findet, dass das Öl „wahrscheinlich verändert“ sei. Lassen wir dieselbe daher ausser Acht; so lehren die übrigen Versuche entschieden, dass die Brechbarkeit mit zunehmender Temperatur, also mit abnehmender Dichtigkeit gleichfalls abnimmt, dass dagegen die Dispersion gleichzeitig zunimmt. Reduzirt man die Veränderungen der Brechbarkeit und Dispersion auf die

Dichtigkeitsverminderung, welche der Temperaturerhöhung von 1° C entspricht; so ergiebt sich Folgendes:

	Abnahme der Brechbarkeit für den Strahl		Zunahme der Dispersion
	B	*H*	
Anisöl, Versuch 2 und 3 . .	0,00062	0,00054	0,000074
Kassiaöl, Versuch 1 und 2 .	0,00045	0,00035	0,000100
„ „ 2 „ 3 .	0,00059	0,00047	0,000118

Aus diesen Zahlen dürfte die Gesetzmässigkeit der Abnahme der Brechbarkeit und die Zunahme der Dispersion bei abnehmender Dichtigkeit hervorleuchten.

12. Frauenhofersche Linien. Das Sonnenspektrum, d. h. die Lichterscheinung, welche die sämmtlichen durch ein Prisma zerlegten Farbentheile des Sonnenlichtes darstellt, zeigt nicht an allen Stellen einen kontinuirlichen Übergang der Farben, sondern ist von dunkelen Linien, den Frauenhoferschen Linien, quer durchsetzt. Es fragt sich, ob diese Linien, ähnlich den Linien in den Beugungsphänomenen durch Interferenz der benachbarten Strahlen beim Austritte aus dem Prisma in Folge der Diffusion entstehen, sodass also die wahre Zusammensetzung des Sonnenlichtes doch in allen Stellen stetig wäre, oder ob jene Linien das Fehlen gewisser Farben oder gewisser Vibrationsgeschwindigkeiten bekunden.

Ich halte nur die letztere Annahme für zulässig. Denn benachbarte Strahlen von verschiedener Vibrationsgeschwindigkeit können sich wohl in Punkten, aber nicht auf ihre ganze Länge durch Interferenz vernichten, müssen sich vielmehr in gewissen Entfernungen schwächen, in gewissen Entfernungen aber auch verstärken. Demgemäss müsste die Interferenz ebenso gut und abwechselnd mit den dunkelen auch helle Linien schaffen, welche jedoch nicht vorhanden sind. Endlich wäre durch Interferenz die grosse Unregelmässigkeit der dunkelen Linien unerklärlich. Nur die wechselnde Intensität des Lichtes im Spektrum, welche allerdings stattfindet, vermöchte einigen Einfluss auf die Stärke dieser Linien zu äussern und dadurch eine gewisse Ungleichheit, jedoch keine Unregelmässigkeit zu begründen: jedenfalls müsste eine Veränderung in der Mischung des einfallenden Lichtes, welche einer partiellen Intensitätsveränderung gleichkömmt, eine Veränderung des Systems der dunkelen Linien bewirken. Letzteres ist aber nicht der Fall; denn jedes Spektrum, welches durch Bestandtheile des Sonnenlichtes gebildet und nicht auf andere Weise spezifisch verändert ist, hat dieselben Linien. Namentlich gilt Diess mit grosser Annäherung (nicht ganz scharf) von den Spektren aller vom Tageslichte beschienenen farbigen Körper, weil von diesen Körpern vornehmlich solche Strahlen reflektirt und diffundirt werden, welche mit denen des erregenden Lichtes übereinstimmen.

In der That würde auch die Vorstellung eines Schwingungssystems, welches in stetiger Folge alle zwischen gewissen Grenzen liegenden unendlich vielen Vibrationsgeschwindigkeiten enthielte, die grössten Schwierigkeiten darbieten, wogegen die Voraussetzung, dass sich diese Geschwindigkeiten auf eine endliche Menge beschränken, dass also gewisse Geschwindigkeiten fehlen, viel natürlicher ist. Zu der letzteren Voraussetzung wird man sogar unabweislich durch die Betrachtung gedrängt, dass die spezifische Verschiedenheit des lichterzeugenden Körpers sich ja wesentlich nur durch das Fehlen und das Vorhandensein gewisser Vibrationsgeschwindigkeiten charakterisiren kann und dass ein vollkommen stetiges Spektrum mit allen Farben nur einem leuchtenden Körper zukommen könnte, welcher alle Körpereigenschaften in sich vereinigte. (Wir werden auf diesen Gegenstand nochmals bei den chemischen Strahlen und Linien zurückkommen.)

13. Umfang des Spektrums. Das Spektrum der bekannten, d. h. der auf unser Sehorgan wirkenden Farben hat nur einen mässigen Umfang, welcher zwischen den am langsamsten schwingenden, äussersten rothen und den am schnellsten schwingenden, äussersten violetten Strahlen liegt und die sechs Hauptfarben Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violet enthält. Gewöhnlich werden sieben Hauptfarben genannt, indem das Blau im Spektrum des Sonnenlichtes sich in zwei Nuancen, dem Hellblau und dem Indigo darstellt: einen genügenden Grund zur Vermehrung der Zahl der Hauptfarben vermag ich jedoch hierin nicht zu erkennen, da nicht die Höhe oder Tiefe, sondern die Artverschiedenheit die Hauptfarben charakterisiren soll.

Die Farbe ist immer durch die Vibrationsgeschwindigkeit oder durch die Schwingungszahl pro Sekunde bedingt, gleichviel in welchem Medium die Lichtbewegung stattfindet. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit jedoch hängt von dem Medium ab und kann für dieselbe Farbe sehr verschieden sein. Ebenso die Wellenlänge, d. h. die Länge, um welche sich das Licht während der Zeit einer Schwingung fortpflanzt, eine Länge, welche zugleich die Abstände markirt, in welchen bei einem schwingenden Lichtstrahle fortwährend gleichzeitig dieselbe Phase herrscht.

Im reinen Äther oder im luftleeren Raume, wo alle Farben sich gleich rasch fortpflanzen, haben Schwingungszahl und Wellenlänge für jede Farbe konstante, von Temperatur und anderen Einwirkungen unabhängige Werthe, und zwar ist, wie leicht zu erachten für eine Farbe, deren Schwingungszahl n-mal so gross ist, als die einer anderen, die Wellenlänge n-mal so klein als die der anderen.

In der auf umstehender Seite folgenden Tabelle sind nach Beer's „Einleitung in die höhere Optik“ die Schwingungszahlen und Wellenlängen der hauptsächlich ins Auge fallenden Theile des Spektrums zusammengestellt.

Farbe	Schwingungszahl in der Sekunde	Wellenlänge
	Billionen	Millimeter
Äusserstes Roth . . .	481	0,000645
Roth	500	0,000620
Orangeroth	520	0,000596
Orange	532	0,000583
Gelborange	543	0,000571
Gelb	563	0,000551
Grüngelb	583	0,000532
Grün	607	0,000511
Blaugrün	630	0,000492
Blau	653	0,000475
Blauindigo	676	0,000459
Indigo	691	0,000449
Violetindigo	707	0,000439
Violet	735	0,000423
Äusserstes Violet . .	764	0,000406

Man sieht hieraus, wenn man an die Farben den Massstab der musikalischen Töne legt, dass das Spektrum keine volle Oktave umfasst. Wie wichtig Diess für das Leben in der Natur ist, werden wi weiter unten in No. 14 zeigen. Gegenwärtig bemerken wir nur, dass jenachdem man das äusserste oder das mittlere Roth zum Grundton nimmt, die nach akustischen Gesetzen durch die einfachsten Verhältniss der Schwingungszahlen miteinander verbundenen Töne der Tonleite (unter Hinzufügung der beiden halben Töne Cis und Es) folgenden Zahlen und Farben entsprechen würden (Seite 37).

Das Spektrum umfasst also nur die Tonleiter bis zur Quinte de Grundtones und hierin liegen als einfachste Verhältnisse zum Grundtone die Quinte, die Quarte und die grosse Terz, welche resp. die Verhältnisse $^2/_3$, $^3/_4$, $^4/_5$ darstellen. Mit ziemlicher Genauigkeit erschein Violet als die Quinte, Blau als die Quarte, Grün als di grosse Terz und Gelb als die kleine Terz von Roth. Da übrigens das Bereich, welches uns als eine gleichartige Farbe erscheint, eine geräumigen Tonintervalle entspricht; so hat das Verhältniss dieser Farbe bei weitem nicht die Schärfe der musikalischen Tonverhältnisse un ausserdem ist damit nicht die psychologische Wirkung des Akkorde der Harmonie und der Disharmonie auf unser Gemüth verbunden, wi mit den betreffenden musikalischen Verhältnissen.

Alle Farbentöne jenseit der Quinte, namentlich die Oktave lieg ausserhalb des Spektrums. Nun zeigt die chemische Wirkun welche ausserhalb der Grenzen des sichtbaren Spektrums vor sich geh dass es allerdings noch Lichtstrahlen von stärkerer Brechbarkeit, al rascher vibrirende mit kleinerer Wellenlänge, als die äussersten violett giebt. Dieselben heissen die ultravioletten Strahlen.

Das photographische Spektrum lehrt, dass die ultraviolett Strahlen sich sehr erheblich, nämlich nach der in Müller's Physik m getheilten Abbildung ziemlich genau um die halbe Höhe des sichtbar

Für den akustischen Ton C als Grundton			Für das äusserste Roth als Grundton		Für das mittlere Roth als Grundton	
Ton	Verhältniss der Schwingungszahlen	Verhältniss der Schwingungszeiten und Wellenlängen	Schwingungszahl	Farbe	Schwingungszahl	Farbe
			Billionen		Billionen	
Grundton C . . .	1	1	481	Äusserstes Roth	500	Roth
Cis . .	1,06	0,943	510	Orangeroth	530	Orange
D . . .	9/8	8/9	541	Gelborange	562	Gelb
Kleine Terz Es . . .	6/5	5/6	577	Gelb	600	Grün
Grosse Terz E . . .	5/4	4/5	601	Grün	625	Blaugrün
Quarte F . . .	4/3	3/4	641	Blau	666	Blau
Quinte G . . .	3/2	2/3	721	Violet	750	fast äusserstes Violet
A . . .	5/3	3/5	802	ausserhalb des Spektrums	833	ausserhalb des Spektrums
H . . .	15/8	8/15	900	" " "	938	" " "
Oktave c . . .	2	1/2	962	" " "	1000	" " "

Spektrums über dessen untere Grenze ausdehnen, dass also die Dispersion dieser Strahlen gegen die äussersten rothen $1^1/_2$-mal so gross ist, als die der äussersten sichtbaren violetten Strahlen, auch dass dieselben noch eine namhafte chemische Wirkung äussern, wogegen die chemische Wirkung nach dem oberen Ende hin noch nicht einmal die rothe Grenze des sichtbaren Spektrums erreicht. Obgleich hierdurch die Nichtexistenz ultrarother Strahlen nicht erwiesen ist; so lässt sich doch aus dem Umstande, dass sie sich bis jetzt der Beobachtung entzogen haben, der Schluss ziehen, dass sie in den bis jetzt beobachteten Naturerscheinungen keine grosse Rolle spielen. Mit den ultravioletten Strahlen stellt sich merkwürdiger Weise fast genau der Umfang einer vollen Oktave gegen die äussersten rothen Strahlen dar, wovon man sich überzeugt, wenn man die Rechnung für das erwähnte Spektrum nach der Theorie des Lichtes anstellt. Die Schwingungszahl der äussersten ultravioletten Strahlen fällt danach zwischen 900 und 1000 Billionen pro Sekunde. Nach den Fluoreszenzerscheinungen (No. 14) wird der Umfang von den äussersten rothen bis zu den äussersten ultravioletten Strahlen etwas über eine Oktave hinausgehen und es ist möglich, dass die genaue Oktave in dem Abstande von dem mittleren Roth bis zu dem letzten Haupttone der ultravioletten Strahlen liegt.

Die ultrarothen, wie die ultravioletten Strahlen sind für uns unsichtbar, d. h. sie affiziren unsere Sehnerven nicht in merkbarem Grade. Für andere Geschöpfe könnten sie möglicherweise sichtbar sein: es ist auch möglich, dass eine genügende Verstärkung ihrer Intensität sie dem menschlichen Auge mehr oder weniger sichtbar macht.

Wäre die Oktave des Roth sichtbar; so sollte man meinen, dieselbe erschiene uns wiederum roth. In der That deutet das Violet, welches wir ja auch künstlich und unrein fast immer aus einer Mischung von Blau und Roth herstellen, einen Übergang von Blau zu Roth an.

14. Fluoreszenz. In der Bezeichnung Fluoreszenz, hergenommen vom Fluorkalzium, Feldspath, weil dieses Mineral zu den ziemlich lebhaft fluoreszirenden Körpern gehört, begegnen wir wiederum einem neuen Namen für eine Eigenschaft des Lichtes, welche zwar in dem einen Körper stärker als in dem anderen hervortritt, aber doch nur ein allgemeiner Ausfluss der Grundwirkungen des Lichtes ist und demnach prinzipiell allen Körpern zukömmt.

Die Übertragung eines Vibrationszustandes von dem erregenden Theilchen auf das erregte hat, wenn diese beiden Theilchen verschiedenen Medien angehören, nach der weiter oben erläuterten Ansicht, in Folge der Kombination des gegebenen Vibrationszustandes des erregenden Körpers mit dem natürlichen Vibrationszustande des erregten Körpers eine Umwandlung des ersteren Zustandes in einen anderen zur Folge. An dieser Umwandlung betrachtet man systematisch nacheinander die Veränderungen, welche die Haupteigenschaften der erregenden Lichtthätigkeit erleiden. Die Veränderung der Fortpflanzungsrichtung führt zur allgemeinen Ausbreitung des Lichtes, zur Diffusion und Beugung und für die Strahlenbündel von gleicher Phase zur Reflexion;

die Veränderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit führt zur Brechung; die Veränderung der Intensität zur Absorption; die Veränderung des Phasenunterschiedes zur Interferenz; die Veränderung der Schwingungsrichtung zur Polarisation.

Zu den Haupteigenschaften der Lichtthätigkeit gehört aber noch die Vibrationsgeschwindigkeit: auch diese wird ihre Veränderungen erleiden. Die natürliche Tendenz des erregten Körpers geht dahin, seinen natürlichen Schwingungszustand, d. h. seine natürliche Farbe anzunehmen. Allein wenn das erregende Licht nicht genau diesen Vibrationszustand besitzt, wie es beim Übergange aus einem Medium in ein anderes der Fall ist, wenn es sich also nicht einfach um eine Übertragung identischer Vibrationen handelt, welche nur zwischen Theilchen einunddesselben Mediums möglich ist; so muss die Veränderung nothwendig darin bestehen, dass in dem erregten Körper gewisse Vibrationen erweckt werden, welche seinem natürlichen Vibrationszustande angehören, daneben aber auch gewisse, welche diesem Zustande nicht angehören, und welche auch im Allgemeinen nicht dem erregenden Lichte zukommen, d. h. es werden neben gewissen Bestandtheilen der natürlichen Farbe des erleuchteten Körpers auch gewisse Farben auftreten, welche sowohl der natürlichen Farbe des erleuchteten Körpers, als auch der Farbe des erleuchtenden Lichtes fremd sind. Dieses Auftreten fremder Farben nenne ich nun Fluoreszenz und die fremden Farben selbst Fluoreszenzfarben. Man übersieht sofort, dass jeder Körper fluoreszirt und dass die Stärke und die Art der Fluoreszenz nicht bloss von dem erregten Körper, sondern auch von dem erregenden Lichte abhängt.

Obgleich also die Fluoreszenz von mancherlei Umständen beeinflusst wird; so werden sich doch auch gewisse allgemeine Gesetze darin bethätigen, welche den Veränderungen der Vibrationssysteme eigen sind. Die Vibrationen des erregenden Lichtes versetzen beim Übergange auf das erregte Medium durch ihre regelmässigen Stösse dieses Medium zunächst und vorzugsweise in seine natürlichen Schwingungen, soweit diese Schwingungen mit denen des erregenden Lichtes übereinstimmen. Befindet sich also z. B. im erregenden Lichte ein rother Strahl von 480 Billionen Schwingungen in der Sekunde und gehört diese Vibrationsgeschwindigkeit mit zu der natürlichen des erregten Mediums; so wird derselbe sofort zu Stande kommen, die Farbe des erregten Mediums wird also auch jene rothe enthalten.

Besitzt nun das erregende Licht einen Farbenstrahl, dessen Vibration mit keiner der natürlichen Farben des erregten Mediums übereinstimmt; so muss diese Vibration in eine andere verwandelt werden und es fragt sich, in welche Schwingungen jene Vibration am leichtesten übergeht, wenn ganz identische, die sich immer am absolut leichtesten verwirklichen, nun einmal nicht möglich sind.

Es ist nützlich, vorher einen Blick auf die ähnlichen Vorgänge in der Akustik zu werfen. Die Luft in einer Röhre, eine gespannte Saite und jeder Körper von bestimmter Form kann in verschiedenen Tönen erklingen. Sein natürlicher Ton, sein sogenannter Grundton ist stets der tiefste von allen, oder der am langsamsten vibrirende,

oder der von der grössten Wellenlänge. Die Erzeugung dieses Tones erfordert die geringste Erschütterung oder Erregung. Das Zustandekommen jedes der übrigen Töne setzt nicht bloss ein gewisses, den Normalzustand störendes Hinderniss, sondern auch eine verstärkte Erregung voraus, und zwar sind die stufenweise aufeinander folgenden Töne, welche ein solcher Körper zu produziren vermag, an die allmähliche Erhöhung dieses Hindernisses und dieser Erregung gebunden.

Die Art dieser möglichen Töne hängt von dem Systeme des schallenden Körpers ab. Eine an beiden Enden geschlossene Röhre kann ausser dem Grundtone nur die höheren Oktaven desselben angeben. Eine an einem Ende geschlossene Röhre vermag ausser dem Grundtone nur dessen Quarte, grosse Terz u. s. w., nicht aber dessen Quinte und keine Oktave davon anzugeben. Eine an beiden Enden offene Röhre giebt ausser dem Grundtone die Oktave, die Quinte u. s. w., nicht aber die Quarte und grosse Terz an. Eine gespannte Saite kann ausser dem Grundtone nur Oktaven davon angeben.

Diese akustischen Verhältnisse sind dadurch bedingt, dass durch die Natur des vibrirenden Systems gewisse Punkte von unveränderlicher Beschaffenheit gegeben sind. So leuchtet ein, dass das geschlossene Ende einer Röhre oder der Befestigungspunkt einer Saite stets ein Knotenpunkt für das Wellensystem sein muss, weil hier eine Bewegung des vibrirenden Körpers unmöglich gemacht ist. Ebenso ist klar, dass an dem offenen Ende einer Röhre stets ein Bauch für das Wellensystem liegen muss, oder vielmehr, dass daselbst niemals ein Knotenpunkt liegen kann, weil die daselbst stattfindende Einmündung in die freie Luft, welche eine Fortsetzung des vibrirenden elastischen Mediums mit unendlich grossem Querschnitte bildet, eine Verdichtung des Mediums, wie sie in einem Knotenpunkte bei jeder Schwingung einmal vorkommen muss, unmöglich macht, indem sich offenbar der unendlich grosse Querschnitt ausserhalb der Röhre nicht in diesem Verhältnisse verdichten, folglich der etwaigen Verdichtung innerhalb der Röhre nicht das Gleichgewicht halten kann.

Es ist klar, dass wenn nicht durch die besondere Einrichtung des schwingenden Systems die ganze unendliche Reihe der Töne, welche unter dem Grundtone liegen, unmöglich gemacht ist, wenn vielmehr sich nach der äusseren Beschaffenheit des Systems ebenso wohl tiefere, wie höhere Töne erzeugen lassen, die tieferen oder langsamer vibrirenden sich immer weit eher oder leichter einstellen werden, als die höheren. Denn um den erregenden Ton, welcher an dem erregten Körper mit einem Theile seiner Intensität den ihm gleichen Ton erzeugt, fernerweit in einen höheren Ton zu verwandeln, muss sich die Zahl der Vibrationen, welche durch die Stösse des erregenden Körpers unmittelbar hervorgerufen werden, vermehren: wogegen zur Verwandlung in einen tieferen Ton eine Verminderung der Schwingungen nöthig ist. In Folge der Hindernisse, welche ja eben die Verwandlung des Tones bedingen, werden aber eher durch den Effekt der unzeitigen Begegnung der Theilchen Vibrationen vernichtet oder unterdrückt, als neu erzeugt.

Das System eines Moleküls, bestehend aus einer gewissen Verbindung

on Äther und Ponderabelem, leidet nun, wie alle Erscheinungen des 'arbenwechsels lehren, weit weniger an dem eben beschriebenen Zwange ls Röhren und gespannte Saiten. Auch die Dispersion, welche stetige 'arbenübergänge zeigt, liefert den Beweis, dass in einem solchen Mole-üle unendlich viel benachbarte Schwingungszustände möglich sind. Wenn uch jeder solche Schwingungszustand von einem besonderen Theil-hen des komplizirten Moleküls ausgeübt wird; so geht doch immer us jener Stetigkeit hervor, dass durch Konkurrenz und Übertragung wischen allen diesen Theilchen eine grössere Freiheit der Bewe-ung gestiftet ist, als in jenen akustischen Instrumenten, wo Nichts im tande ist, von gewissen Stellen die Knotenpunkte zu vertreiben.

Bei der Erregung eines Körpers durch einfallendes Licht werden sich lso zunächst die natürlichen Farben (die Grundtöne) dieses Kör-ers zeigen, soweit dieselben nicht mit den Vibrationen des erregenden ichtes in zu schroffer Disharmonie stehen. Der durch diese Disharmonie der unvollkommene Übereinstimmung erzeugte Zustand des Zusammen-osses wird alsdann ferner bewirken, dass der erregte Körper lang-amere Vibrationen zeigt. Von allen diesen Nebenvibrationen ver-irklicht sich am leichtesten die Oktave, weil sie eine ganz regelmässige nterdrückung der je zweiten Vibration voraussetzt. Wir haben aber in o. 13 gesehen, dass das sichtbare Spektrum keine Oktave umfasst, ohl aber dass zwischen dem Roth und den ultravioletten Strahlen eine olche liegt. Hierdurch nehmen also die ultravioletten Strahlen eine ehr wichtige Rolle im Reiche der Erscheinungen an: sie erzeugen, wenn e mit dem erregenden Lichte auf einen anderen Körper fallen, in diesem örper rothe Strahlen.

Der nächst der Oktave am leichtesten, aber immer schwieriger als ie Oktave selbst zu erzeugende Ton ist die absteigende Quinte, welche oraussetzt, dass sich je drei Stösse in je zwei verwandeln. Die ultra-ioletten Strahlen werden also ausser den rothen auch Strahlen von der othen bis zur blauen Farbe erzeugen, weil die Wellenlänge der blauen trahlen $^3/_2$-mal so gross ist, als die der äussersten ultravioletten. Mit em Quintenverhältnisse reichen aber auch die violetten Strahlen des ichtbaren Spektrums hinauf ins Roth und Orangeroth. Die violetten trahlen des erregenden Lichtes werden also im erregten Körper rothe nd orangerothe Farben hervorrufen.

War nun schon die Verwirklichung der Quinte schwieriger als die ktave und diese schwieriger als der Grundton; so steigert sich die chwierigkeit noch mehr bei der Quarte, dem Verhältnisse von 3 : 4. ndessen äussert dasselbe immer noch eine wahrnehmbare Wirkung, in olge deren die ultravioletten Strahlen Farben vom Gelb bis zum Violet nd die sichtbaren blauen und violetten Strahlen Farben vom Roth bis um Violet erzeugen.

Über dem Verhältnisse der Quarte wird die Wirkung bald varschwin-end, sodass von den oberhalb des Blau liegenden sichtbaren Farben ein namhafter Effekt mehr hervorgebracht wird.

Durch Vorstehendes findet sich die Erscheinung der Fluoreszenz den Hauptsachen erläutert.

Ich mache noch darauf aufmerksam, dass durch die Einwirkung auf

einen stark fluoreszirenden Körper die ultravioletten und auch die äusse sten sichtbaren violetten Strahlen, indem sie sich in sichtbare und höh gefärbte Strahlen verwandeln, zum grossen Theile verloren gehen. Dies Verlust muss umso grösser werden, je öfter man das fluoreszirte Lic auf den fluoreszirenden Körper fallen und von demselben diffundiren läs oder je länger man Licht durch einen fluoreszirenden Körper dringen läs

Da jeder Körper, also auch die Luft, mehr oder weniger fluoreszi so wird wahrscheinlich das indirekte, in der Atmosphäre vielfach diffu dirte Sonnenlicht, namentlich bei bedecktem Himmel, wo es an si schwach ist, weit weniger ultraviolette Strahlen enthalten, als das direk und das bei heiterem Himmel vorhandene. Da nun die unteren Strahl des Spektrums und selbst die ultravioletten die lebhafteste photograp sche Wirkung ausüben; so wird die Empfindlichkeit der photographisch Platten bei bedecktem Himmel in ungleich grösserem Verhältnisse geri ger sein, als es der verminderten Helligkeit entspricht.

Schliesslich haben wir noch die unter No. 13 gemachte Andeutun dass der geringe Umfang des Spektrums von Wichtigkeit sei, erläutern.

Die Hauptwirkung der akustischen Töne bedingt das Nachei andersein, die Reihenfolge, die Bewegung in der Zeit. Demz folge ist unser Ohr nicht so fein organisirt, dass es schon durch d Schallschwingungen affizirt würde, in welche ein Gegenstand durch lei Erschütterungen oder durch die gewöhnlichen Bewegungen des u und alle Gegenstände umgebenden akustischen Mediums, der Lu versetzt wird. Wäre Diess der Fall; so würden gleichzeitig und una hörlich alle Gegenstände um uns herum in ihren Grundtönen klingen u unser Gehör in denselben Zustand der Verwirrung und Betäubung versetz in welchen wir durch ein dauerndes Geräusch gerathen.

Die Hauptwirkung des Lichtes beruht auf ganz anderen Bedingu gen. Sie erfordert das Nebeneinandersein, die Gleichzeitigke die Ruhe im Raume. Unser Auge empfängt auf einmal das Bild d ganzen Aussenwelt. Diess ist nur möglich, wenn unser Auge so empfi lich ist, dass die Lichtvibrationen, in welche alle uns umgebenden Geg stände durch die Erregung selbst einer sehr schwachen Lichtquelle v setzt werden, einen hinreichend starken Eindruck auf dasselbe mac und wenn das Auge auch ebenso gut die starken Erregungen vertra kann, in welche jene Gegenstände durch das volle Sonnenlicht vers werden. Dadurch nun, dass die Skale der möglichen Lichtstrahlen wenig umfangreich ist und dass die der sichtbaren Farben ke volle Oktave erreicht, wird verhütet, dass bei wachsender Intensität dem Grundtone die leicht zu weckenden Nebentöne, namentlich zunächst in Betracht kommende Oktaven, ja kaum die an sich sc schwieriger zu erzeugende Quinten hervorgerufen werden. Der Farb eindruck, überhaupt die Gesichterscheinung der Gegenstände ist hierdurch zu einer sehr konstanten oder stabilen gemacht, währ bei einer grösseren Farbenskale in Folge der erheblich wechseln Intensität des die Natur erleuchtenden Lichtes eine sichere Erken niss und ruhige Anschauung der uns umgebenden Gegenstände möglich, ja alle Wirkungen, welche auf dem Verhältnisse von Far

u einander beruhen, durch die gleiche und ungleiche Verwandlung ieser Farben vernichtet, überhaupt die Farben zu den störendsten und nangenehmsten Feinden des Auges gemacht wären.

Das enge Farbenspektrum ist das Gegengewicht gegen den weien Spielraum der Helligkeit und die grosse Empfindlichkeit des uges selbst bei schwacher Intensität: die weite Tonleiter dagegen st der Ersatz für den engen Spielraum der Schallstärke in der Natur nd die geringe Empfindlichkeit des Ohres für schwache Töne.

15. Charakteristik der stehenden, der fliegenden und der gemischten Wellensysteme. — Strahlung, Leitung, Phosphoreszenz. chon im Eingange unserer Untersuchungen haben wir zwischen den Virationen eines abgemessenen Körpersystems und eines unberenzten Mediums unterschieden. Wir wollen jetzt die Eigenthümchkeiten der hierbei in Betracht kommenden Schwingungszustände auf nre Grundbedingungen zurückzuführen und uns dadurch eine klare Eincht in die Vorgänge zu verschaffen suchen.

Nehmen wir an, durch einen Motor (die Kraftquelle, den Schall der Licht erzeugenden Prozess) sei eine bestimmte Quantität Arbeit der lebende Kraft auf eine nach Grösse und Form gegebene Menge von Materie übertragen, und es erfolge vom Motor her kein neuer uschuss; man fragt nach dem weiteren Verlaufe der Dinge, welcher ch aus diesem Zustande nach mechanischen Gesetzen nothwendig ergeen muss. Für ganz normale Verhältnisse kommen folgende zwei Hauptrten des Verlaufes in Betracht.

Wenn die erregte Körpermasse B ein in sich völlig abgeschlossenes nd vollkommenes System von Massen und Kräften bildet, welches isolirt nd von gar keinem reagirenden Medium umgeben ist; so wird die darin ngehäufte Arbeit ewig dieselbe bleiben und nur diejenigen periodihen Verwandlungen zwischen eigentlicher lebender Kraft und Areit erleiden können, welche in mechanischer Hinsicht als äquivalent elten. Das Resultat hiervon ist, dass jedes Theilchen einen periodihen Bewegungszustand annimmt, welcher für die einzelnen Theilnen des Körpers B verschieden, für jedes derselben aber in Ewigkeit onstant ist Dieses wahre Perpetuum mobile verwirklicht sich n jeder ideellen Maschine, an jedem Pendel, an der schallenden locke, an der klingenden gespannten Saite u. s. w., vorausgesetzt ur, dass die Elastizität vollkommen, keine Reibung, kein widerstehendes ittel vorhanden und überhaupt nirgends ein Hinderniss für die normale ntwicklung des Bewegungszustandes gegeben ist. Ist der Wechsel der ustände auf sehr geringe Zeiten beschränkt; so heisst die ganze rscheinung ein Vibrations- oder Schwingungszustand: im brigen besteht ein prinzipieller Unterschied zwischen Vibrationen und egelmässigen periodischen Bewegungen nicht. Das eben bezeichnete, in inen kleinsten Theilen konstante Vibrationssystem eines abgeschlossenen örpers B ist ein sogenanntes stehendes Wellensystem. In der egel bildet der ganze Körper B eine einzige Welle: es können sich doch auch mehrere gleiche Körper in demselben Bewegungszustande eben einander legen, um ein System von zwei, drei u. s w. stehenden

Wellen zu bilden. So theilt sich z. B. zuweilen eine gespannte Sai oder die tönende Luftsäule einer Orgelpfeife in den Knotenpunkten i mehrere stehenden Wellen ab.

Wenn dagegen die erregte Körpermasse B ein unterschiedsloser The einer unbegrenzten gleichartigen Masse ist, in welcher alle kleinsten b nachbarten Theile in derselben Beziehung zueinander stehen; so wird di Art und Weise, wie B die Erregung von gewissen Theilchen empfange hat, genau dieselbe sein, wie die, in welcher B auf die nächstfolgende Theilchen wirken kann. Das Resultat wird also sein, dass die Masse und jedes ihrer Theilchen die volle empfangene Arbeit oder lebende Kra auf eine ihr gleiche Masse überträgt und demgemäss nach dieser Übe tragung sich wieder in dem Zustande der Ruhe oder Unerregtheit b findet, und darin dauernd verharrt, in welchem sie sich vorher befan dass dagegen die in Rede stehende Arbeitsgrösse sich in dem unbegren ten Gesammtmedium fortwälzt, also zwar auch wie vorhin ungeschwäch aber immer an einem anderen Orte, in einer anderen Masse for besteht. Diess ist das Phänomen der Fortpflanzung eines Zustande Insofern nun zu der Entwicklung einer gewissen Arbeitsgrösse in d Masse B, also auch zu der Übertragung derselben auf die benachbarte Theilchen Zeit erforderlich ist, kann der Zustand jedes Theilchens von nicht während dieser Zeit derselbe sein, sondern muss sich von dem u sprünglichen Zustande der Ruhe auf einen Maximalzustand der Erregun erheben und sodann auf den früheren Zustand der Ruhe zurücksinke Während dieser Periode, welche ebenfalls den Namen einer Schwingun oder Vibration trägt, empfängt und verliert das Theilchen eine b stimmte Arbeitsgrösse. Die Allmählichkeit, womit während diese einen Schwingungsdauer die Empfangnahme und die Weiterbeförderun der Arbeit vor sich geht, bedingt, dass innerhalb dieser Zeit die Erregun der Materie in der Fortpflanzungsrichtung über eine Strecke von gewisse Länge λ fortschreitet, dergestalt, dass wenn in einem Theilchen jetzt di Erregung beginnt, nach Verlauf der Schwingungsdauer, also wenn di Erregung in diesem Theilchen erlischt, dieselbe am Endpunkte de Strecke λ beginnt. Es herrscht also gleichzeitig nur auf de Strecke λ Thätigkeit; die Gesammtthätigkeit auf dieser Strecke heiss eine Welle und ihre Länge die Wellenlänge. Während eine Schwingungsdauer pflanzt sich also der Bewegungszustan um eine Wellenlänge fort, indem er allmählich das Medium in all Unendlichkeit durchläuft. Dieser sich fortpflanzende Zustand bildet ein fliegende Welle im Gegensatze zu den vorhin erwähnten stehende Wellen, zwischen welchen Beiden man den wesentlichen Unterschie leicht erkennt.

In einem fliegenden Wellensysteme wird also durch einen einmali gen Impuls des Motors eine bestimmte Masse B des unbegrenzten M diums nur während einer begrenzten Zeit in Thätigkeit gesetzt, un zwar dauert die Thätigkeit in jedem Theilchen dieser Masse nur die Ze einer Schwingung. Soll dieselbe Masse, dasselbe Theilchen dauern in Thätigkeit erhalten werden; so müssen vom Motor her dauern Impulse erfolgen. Jeder einzelne Impuls durchläuft als fliegende Wel die Bahn ins Unendliche: folgt nun diesem ersten Impulse in der Schwi

gungszeit ein zweiter, diesem ein dritter und so fort, endlich ein n-ter; so entsteht ein Strahl, d. h. ein fliegendes Wellensystem, in welchem das Medium auf eine Strecke von n Wellenlängen in Thätigkeit ist. Dieses System dringt vom Motor aus vor und bildet, solange der Motor in Aktivität ist, eine beim Motor beginnende, in Thätigkeit begriffene Vibrationslinie, welche sich beim n-ten Impulse auf die Länge $n\lambda$ ausdehnt. Erlischt jetzt die Thätigkeit des Motors; so durchläuft dieses System von der Länge $n\lambda$ wie eine zusammenhängende Welle seine unendliche Bahn und erhält jedes Theilchen, welches davon getroffen wird, auf die Dauer von n Schwingungszeiten in Vibration.

Mehrere solche in parallelen Richtungen nebeneinander laufenden Strahlen bilden ein paralleles Strahlenbündel. Divergiren jedoch die Impulse des Motors nach den Richtungen der verschiedenen von einem Punkte auslaufenden Kugelradien; so wird sich bei der Fortpflanzung die in Thätigkeit gesetzte Masse von der Dicke einer Wellenlänge λ, in welche die gesammte Arbeit aus der vorhergehenden Masse von derselben Dicke übergeht, in dem Verhältnisse der um den Motor beschriebenen Kugelfläche, also in dem Verhältnisse des Quadrates der Entfernung vom Motor vergrössern. Da nun die Gesammtthätigkeit, welche in einer solchen Schicht während einer Schwingungszeit entwickelt wird, stets dieselbe bleibt, nimmt die Intensität derselben, d. h. die in einer Masse von der Dicke λ und dem Querschnitte einer Flächeneinheit während einer Schwingungsdauer entwickelte Arbeit im umgekehrten Quadrate der Entfernung ab.

Ein System fliegender Wellen bietet sich bei der Fortpflanzung des Schalles in der Luft oder in anderen Körpern, bei der Lichtbewegung und in anderen Fällen dar.

In der Wirklichkeit realisirt sich weder ein stehendes, noch ein fliegendes Wellensystem in der vorstehend bezeichneten Reinheit und Vollkommenheit. Ein stehendes System bleibt nicht ganz konstant; es überträgt sich mit jeder Schwingung ein Theil der lebenden Kraft auf das umgebende Medium. Ein fliegendes System überträgt nicht präzise mit jeder Schwingung die lebende Kraft einer Welle auf die folgende Wellenstrecke; es bleibt vielmehr Etwas davon noch längere Zeit in jener ersteren Welle haften. Wir haben es also in der Natur stets mit gemischten Systemen zu thun, welche bald vorwiegend die Eigenschaften der stehenden, bald vorwiegend die Eigenschaften der fliegenden Systeme bethätigen, aber immer die Eigenschaften beider in sich vereinigen.

Zu dieser Vermischung, welche lediglich aus der Unvollkommenheit der Materie entspringt, gesellen sich nun noch andere Effekte dieser Unvollkommenheit, insbesondere die arbeitvernichtenden Effekte des eigentlichen Stosses, d. h. des Zusammentreffens mit verschiedenen Geschwindigkeiten (was bei der Übertragung der Arbeit von Welle zu Welle in einem vollkommenen Medium keineswegs vorkommen würde); ebenso die arbeitkonsumirenden Effekte der Reibung und andere.

Es ist wichtig, sich die Erfolge dieser Unvollkommenheit gehörig zu vergegenwärtigen, namentlich die einzelnen Arbeitsquantitäten zu spezialisiren, in welche sich das in einer Welle gegebene Quantum von

Arbeit oder lebender Kraft zerlegt. Wir fassen hierbei das stehende un das fliegende Wellensystem zugleich, oder vielmehr ein aus beiden zu sammengesetztes System ins Auge. Ein solches System stel dann zugleich eine Verallgemeinerung jedes der beiden Grun systeme vor, indem sich daraus sofort das stehende oder sofort das fli gende System ergiebt, jenachdem gewisse Grössen diesen oder jenen sp ziellen Werth haben.

Zu diesem Ende vergegenwärtigen wir uns drei benachbarte Körpe A, B, C, welche gleich oder verschieden, von demselben oder von ve schiedenem Stoffe sein mögen, aber in einer solchen Verbindung zuei ander stehen, dass sie wie die Massen dreier aufeinander folgenden We lenlängen eines fliegenden Systems die lebende Kraft aufeinander übe tragen können. Es ist auch zulässig, dass A und B, sowie B und C ge wisse Theile miteinander gemein haben. A ist der erregend Körper, von welchem sich die lebende Kraft auf den erregten Körpe B fortpflanzt, um sich von hier aus auf den zu erregenden Körper zu übertragen. M sei der Inbegriff einer gewissen Menge von gleichartige oder verschiedenartigen Körpern oder Medien, welche die Gruppe A, B C seitwärts umgeben, sodass zwischen dieser Gruppe und ihrer Um gebung M ein Austausch von lebender Kraft durch Zerstreuung ode Diffusion oder auf andere Weise möglich ist.

Am Ende der Zeit t sei die lebende Kraft, welche im Verlaufe eine Schwingungsdauer τ in den Massen A, B, C, M zur Erscheinung kömm resp. a, b, c, m: es fragt sich, wie gross diese Kraft a', b', c', m' nac Verlauf der nächsten Schwingungsdauer, also am Ende der Zeit $t +$ sein wird.

Zur Bestimmung dieser Veränderung sei a_1, b_1, c_1, m_1 der Verlus welchen der Körper A, B, C, M während der Zeit τ durch die arbeit vernichtenden Ursachen, Stoss, Reibung u. s. w. einbüsst, also di Absorption von lebender Kraft.

Alsdann sei a_2, b_2, c_2 der Gewinn von lebender Kraft, welchen A B, C aus den umgebenden Medien M, also durch die Diffusio dieser Medien empfängt; ferner a_3, b_3, c_3 der Verlust, welchen A B, C durch Diffusion in die umgebende Körpermasse M erleidet Ebenso sei m_2 und m_3 resp. der Gewinn und Verlust, welchen die Masse M durch die Diffusionswirkung zwischen ihr und ihrer weiteren Umge bung erleidet.

Ferner sei a_4 die Vermehrung der lebenden Kraft, welche ein Moto auf den Körper A überträgt, oder welche überhaupt diesem Körper vo aussen zugetragen wird.

Endlich sei a_5 die lebende Kraft, welche A auf B fortpflanzt ferner b_5 die lebende Kraft, welche B auf C fortpflanzt und endlic c_5 die lebende Kraft, welche C auf den nächsten in der Fortpflanzungs richtung liegenden Körper überträgt.

Hieraus ergiebt sich sofort folgender Werth der lebenden Kraft welcher sich am Ende der Zeit $t + \tau$ im Verlaufe einer Schwingungs dauer in dem Körper A, B, C, M entwickelt.

$$a' = a - a_1 + a_2 - a_3 + a_4 - a_5$$
$$b' = b - b_1 + b_2 - b_3 + a_5 - b_5$$

$$c' = c - c_1 + c_2 - c_3 + b_5 - c_5$$
$$m' = m - m_1 + (m_2 - a_2 - b_2 - c_3) - (m_3 - a_3 - b_3 - c_3)$$

Sind für einen Körper wie B alle Verluste $b_1 + b_3 + b_5$ gleich den Gewinnen $b_2 + a_5$; so wird $b' = b$, d. h. sein Vibrationszustand bleibt in den Perioden der einzelnen Schwingungen dauernd derselbe. Im Allgemeinen ist Diess jedoch nicht der Fall: die Vibrationsintensität ändert sich also mit der Zeit; sie wächst oder sie fällt, jenachdem der Gewinn den Verlust überwiegt oder nicht. Da die durch Absorption und Diffusion bedingten Änderungen $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3 \ldots$ fast immer klein sind gegen die Grössen a, b, c und die durch Fortpflanzung bedingten Änderungen $a_4, a_5, b_5, c_5 \ldots$; so ist die Veränderlichkeit der Grössen a, b, c fast immer vorzugsweise durch die Differenzen $a_4 - a_5$, $a_5 - b_5$, $b_5 - c_5$, also durch die Ungleichheit der Grössen a_4, a_5, b_5, c_5 bedingt. Bei gleichmässiger Thätigkeit des Motors oder bei dauerndem Zuschusse an lebender Kraft a_4 entsteht also ein allmähliches Anwachsen der lebenden Kräfte a, b, c vornehmlich dadurch, dass die Körper A, B, C weniger lebende Kraft fortpflanzen, als sie direkt empfangen. Zu jeder Zeit wird also in der Reihe der Körper A, B, C, $D \ldots$ ein Bestand a, b, c, $d \ldots$ an lebender Kraft sein, welcher für den ersten am grössten und für den letzten am kleinsten ist. Derselbe wächst in allen Körpern allmählich. Demzufolge nimmt b erst zu einer späteren Zeit den Werth a an, c erhebt sich noch später auf diesen Werth u. s. f. Eine gegebene Intensität pflanzt sich also nach einem ähnlichen Gesetze wie die Erregung oder der Strahl an sich, jedoch augenscheinlich mit viel geringerer und von der Beschaffenheit der Körper A, B, C . . . abhängigen Geschwindigkeit fort.

Umgekehrt wird, falls der Motor seine Thätigkeit zu einer Zeit einstellt oder a_4 dauernd gleich null wird, wenn a, b, $c \ldots$ überall gleich ist, die Intensität in jedem der Körper A, B, C, $D \ldots$ allmählich sinken, also in dem ersten stets schwächer sein, als in dem letzten.

Im Allgemeinen kann aber durch die Variation des Motors zu einer Zeit, wo a, b, $c \ldots$ verschiedene Werthe, z. B. steigende Werthe haben, ein sehr verschiedener Zustand in der Reihe dieser Grössenwerthe, z. B. vorn ein Fallen und hinten ein Steigen erzielt werden.

Diese Fortpflanzung einer gleichen Intensität führt in der Theorie der Wärme den Namen Leitung, und man sieht, wie dieser Prozess bald den Charakter der Zunahme, bald den der Abnahme von Intensität in irgend einem Punkte eines Körpers an sich trägt, jenachdem die ausserhalb dieses Körpers liegende Kraftquelle ihre Wirksamkeit ändert.

Der nämliche Prozess der Leitung findet aber bei jedem Vibrationssysteme statt, wie denn auch jedes System den Prozess der Strahlung hat.

Bei der Verbreitung des Lichtes in durchsichtigen Körpern ist die Fortpflanzung durch Strahlung so gut, dass keine erhebliche Veränderung der Intensität oder der in jedem Theilchen B vorhandenen lebenden Kraft b eintreten kann. Solange der Motor thätig ist, hat b

nahezu einen konstanten Werth und sobald der Motor seine Thätigk einstellt, erlischt auch die lebende Kraft b sehr rasch. Gleichwohl jene Intensität nicht im mathematischen Sinne konstant und diese I löschung nicht momentan. Die Intensität des Lichtes dringt auch n allmählich vor und wenn auch zwischen den sukzessiven Werthen b, b', b'' welche die lebende Kraft b in dem Theilchen B zur Zeit t, $t + \tau$, $t + 2\tau$ annimmt, nur ein sehr geringer Unterschied herrscht; so ist doch die G schwindigkeit, womit sich der genaue Werth der Intensit b fortpflanzt, oder die Leitungsgeschwindigkeit des Lic tes sehr klein im Vergleich zu der Geschwindigkeit v 42000 Meilen pro Sekunde, mit welcher sich der Stra oder die Erregung an sich fortpflanzt.

Ebenso bleibt beim Erlöschen des Lichtstrahles in de Theilchen b eine wennauch kleine Menge lebender Kra noch lange Zeit zurück. Diese Eigenschaft der Körper ist d Phosphoreszenz. Sie kömmt allen Körpern zu: gleichwohl ist d Menge der zurückbleibenden lebenden Kraft und demgemäss die Zei während welcher die Schwingungen des Theilchens B nach der Erlöschu des Lichtstrahles für das Auge noch wahrnehmbar bleiben, je nach d Beschaffenheit des Mediums sehr verschieden, und man nennt vorzug weise solche Körper phosphoreszirende, welche sich durch je Eigenschaft besonders auszeichnen.

Da Phosphoreszenz und Leitung auf demselben Prinzipe beruhe so muss eine genaue Beobachtung auch lehren, dass der Lichtstrahl, welch einen durchsichtigen phosphoreszirenden Körper durchdringt, in seine Innern nur allmählich zu seiner endlichen Intensität anschwillt.

Übrigens ist die Phosphoreszenz keineswegs an die Bedingung d Durchsichtigkeit gebunden: im Gegentheil ist Undurchsichtigkeit dies Erscheinung günstiger.

Die Leitungsfähigkeit eines Körpers lässt sich ebenso g durch die Geschwindigkeit ausdrücken, womit eine gegebene I tensität ihren Ort ändert, wie auch durch die Geschwindigke womit an einem gegebenen Orte die Intensität ihren Wer ändert oder durch die Zeit, welche erforderlich ist, damit die Intensit eines Theilchens sich auf einen gewissen Betrag erhebt.

Bei fliegenden Wellensystemen ist die eine Bestimmungsart brauchbar wie die andere: bei stehenden Wellensystemen jedoch, keine Fortpflanzung in einer Reihe von gleichartigen Körpern A, C ..., sondern nur ein Austausch zwischen den vibrirenden Körpern u den umgebenden Medien stattfindet, ist es anschaulicher, die Leitung fähigkeit nach der Geschwindigkeit zu messen, mit welcher sich die I tensität an demselben Orte ändert.

Beurtheilt man die in Rede stehende Eigenschaft eines Stoffes f den Fall, dass er von einem fliegenden Wellensysteme durchdrung wird, also z. B. für den Fall der Erwärmung, nach der Geschwindi keit, womit sich eine bestimmte Intensität fortpflanzt; so nennt man di Eigenschaft vorzugsweise Leitungsfähigkeit. Beurtheilt man dageg dieselbe Eigenschaft nach der Veränderlichkeit der Intensität an dems ben Orte; so trägt sie je nach der Natur des Vibrationssystems verschiede

Jamen oder ist mit gar keinem besonderen Namen belegt. Bei der Wärme ;t es alsdann die Fähigkeit oder Leichtigkeit eines Stoffes, sich zu er- ärmen und zu erkalten. Beim Lichte ist es die Phosphoreszenz der die Fähigkeit nachzuleuchten. Beim Schalle in der Luft ist ; die Fähigkeit nachzuhallen. Bei der Wellenbewegung im Was- er ist es die Erzeugung stehender Wellen mit allmählich abnehmen- er Intensität, nachdem der Motor seine erregende Wirksamkeit einge- ellt hat.

Bei stehenden Wellensystemen, z. B. bei einer tönenden gespann- en Saite oder Glocke oder eingeschlossenen Luftsäule äussert ch jene Eigenschaft durch die Leichtigkeit, die Impulse des Motors auf- nehmen und dieselben mit möglichst geringem Verluste festzuhalten.

Befände sich eine schwingende Saite A im luftleeren Raume und äre ihre Materie ganz vollkommen; so bedürfte es keines Motors, um ie Schwingungen in voller Intensität zu erhalten. Es wäre dann $a_4 = 0$ der auch $a_5 = 0$ und da jetzt alle Gewinne und Verluste durch Absorp- on und Diffusion, also alle Grössen $a_1 = a_2 = a_3 = 0$ wären; so hätte an dauernd $a' = a$.

Befindet sich jedoch eine solche Saite aus vollkommener Materie im ifterfüllten Raume; so wird, nachdem sie durch irgend eine Ursache . Schwingungen versetzt ist, $a_4 = 0$ und $a_5 = 0$ sein. Wäre nun auch . der isochron mitschwingenden Luftmasse kein Verlust durch eigent- chen Stoss oder Absorption vorhanden, also auch $a_1 = 0$; so hätte an doch den Gewinn a_2 und den Verlust a_3 durch Diffusion in diese uftmasse, also $a' = a + a_2 - a_3 = a - (a_3 - a_2)$. Die Intensität er Schwingungen nimmt also ab, die Saite verhallt, indem $a_3 > a_2$ ist.

Würde eine solche Saite durch die Vibrationen einer unbegrenzten iftmasse in Schwingungen versetzt, welche von irgend einem Motor ihre gelmässigen Impulse empfinge; so kann man sich unter A irgend eine antität dieser Luftmasse und unter C eine derselben gleiche Luftmasse rstellen, welche um eine Wellenlänge weiter anfängt und endigt. Es gleichgültig, ob man die Länge von A und C gleich einer oder gleich Wellenlängen annimmt, ob also beide Massen gar keinen Theil oder — 1 Wellenlängen miteinander gemein haben. B ist die in der Mitte ischen den beiden Luftmassen A und C liegende Saite, welche wir uns ein Zwischenglied zwischen A und C denken. A empfängt von dem otor, welcher in der unbegrenzten Luftmasse ein fliegendes Wellen- stem erzeugt, regelmässig die Arbeit a_4 und giebt davon a_5 an die Saite ab, verliert a_1 durch den Stoss zwischen ihrer Masse und der Saite, d überträgt a_3 auf die übrige Luftmasse, also auf C. Die Saite B pfängt von A die Grösse a_5, pflanzt auf C b_5 fort und verliert durch oss und auf andere Weise b_1. Es ist also

$$a' = a + a_4 - (a_1 + a_3 + a_5)$$
$$b' = b + a_5 - (b_1 + b_5)$$

Die Schwingungsintensität der Saite wird nun so lange wachsen, $a_5 > b_1 + b_5$ ist. Wird die Luftmasse durch den Motor in ganz ichen Schwingungen erhalten; so nähern sich die Grössen a_1, a_3, a_4, a_5 mer mehr und mehr folgenden Werthen: der Impuls a_4 einem konstan- Werthe, der Verlust a_1 durch Stoss an der Saite dem Werthe null,

die Fortpflanzung a_5 auf die Saite einem konstanten Minimalwerthe die Übertragung a_3 auf die folgende Luftmasse C einem konstante Maximalwerthe und der Werth von a' einem konstanten Maximal werthe, für welchen $a_4 = a_3 + a_5$ ist. Hinsichtlich der Grösse b'; s nähert sich a_5 dem schon genannten Minimalwerthe, der Verlust b durch Stoss dem Werthe null und die Übertragung b_5 auf C dem kon stanten Minimalwerthe a_5, der Gesammtwerth von b' also einem konstan ten Maximalwerthe b.

Aus Vorstehendem erkennt man, dass eine konstante Strahlenquell sei es eine Schall-, Wärme- oder Lichtquelle, in einem bestimmten Punkt eines gegebenen Körpers, welchen sie in Vibrationen versetzt, immer nu eine bestimmte Maximalerregung, also nur eine bestimmt Schallstärke, eine bestimmte Temperatur, eine bestimmte Hel ligkeit hervorrufen kann, und wenn sie auch ewig auf den Körper ein wirkt. Dieses Maximum, welches mit der Tiefe des fraglichen Punkte im Körper abnimmt, wird freilich streng genommen erst in unendliche Zeit erreicht: man kann daher sagen, dass Schall, Wärme und Lich in jeden Körper immer tiefer eindringen, je länger der selbe der Erregungsquelle ausgesetzt wird: allein dies Eindringungsgeschwindigkeit verzögert sich immer meh und mehr dergestalt, dass sie der Intensität nicht gesta tet, das erwähnte, für jeden Punkt verschiedene Maximu jemals zu überschreiten.

Schliesslich mache ich noch darauf aufmerksam, dass Fortpflan zungsfähigkeit nichts Anderes ist, als Neigung zur Bildun fliegender Wellen, Leitungfähigkeit dagegen nichts Andere als Neigung zur Bildung stehender Wellen.

16. Chemische und physikalische Wirkung des Lichtes. Dur die Bewegungen des Äthers bei den Lichtvibrationen ändern sich peri disch die Beziehungen, welche in jedem Massentheilchen eines Körpe zwischen dem Äther und dem Ponderabelen bestehen. Von diesen Bezi hungen hängen die Eigenschaften des Körpers ab: das Licht bewirkt al eine fortwährende wiederkehrende oder oszillatorische Veränderung d Grundeigenschaften des erleuchteten Körpers. Hieraus entspringen d mit dem Lichte stets gleichzeitig und nothwendig verbundenen Ersche nungen von Schall (Vibration des Ponderabelen), von Wärme, Ele trizität und Magnetismus.

Ebenso müssen sich auch Erscheinungen zeigen, welche auf d Beziehungen der ungleichartigen Theile des Stoffes oder auf d Affinität beruhen, d. h. es müssen auch chemische Wirkung auftreten. Eine Veränderung der Affinität bedingt aber einen periodi schen Stoffwechsel zwischen den Molekülen oder einen periodisch Wechsel von Gruppirungen. In Folge der Unvollkommenhe der Materie, welche niemals eine genaue Ausgleichung der Ve änderungen innerhalb der Vibrationsperiode zulässt, sondern immer Ve luste, Absorptionen, Zersplitterungen und dergleichen Störungen bedin wird der periodische Stoffwechsel stets mit einem dauernden begl tet sein.

Der dauernde Stoffwechsel steht zum periodischen genau in demselben Verhältnisse wie die stehende zur fliegenden Welle, wie die Leitung zur Fortpflanzung. In ganz vollkommener Materie würde das Licht nur fliegende Wellen ohne jeden Verlust an lebender Kraft erzeugen, und die stofflichen Veränderungen, welche der Wechsel von Stoff zwischen benachbarten Theilchen, also auch zwischen benachbarten Wellenmassen erzeugt, würden sich von Welle zu Welle wieder ausgleichen. In der unvollkommenen Materie bleibt jedoch ein Theil der lebenden Kraft in der Welle zurück und erzeugt eine stehende Welle und damit einen dauernden Stoffwechsel.

Selbstverständlich wird in manchen Stoffen durch das Licht ein erheblich grösserer Stoffwechsel, eine bedeutendere chemische Veränderung erzeugt werden, als in anderen. Jenes sind die zur Photographie besonders geeigneten Stoffe: ganz ausgeschlossen von chemischer Wirkung ist jedoch kein Stoff.

Ausserdem wird der eine Stoff mehr von dieser, der andere mehr von jener Vibrationsgeschwindigkeit oder Farbe affizirt werden. Die zur Photographie dienenden Verbindungen des Silbers mit Jod, Chlor, Brom u. s. w. reagiren besonders stark auf die unteren Farben des Spektrums, Blau und Violet, auch auf die unsichtbaren ultravioletten Strahlen und nur sehr schwach auf die oberen, insbesondere die rothen Farben. Hieraus folgt keineswegs, dass nur die unteren oder rascher vibrirenden Farben eine chemische Wirkung äussern, auch folgt nicht daraus, dass es besondere chemische Strahlen gebe. Unzweifelhaft bringt jeder Lichtstrahl eine chemische Wirkung hervor und es wird auch Stoffe geben, in welchen die chemische Wirkung der oberen Farben stärker hervortritt. Für einen solchen Stoff halte ich die Substanz des Sehnerven. Überhaupt werden alle diejenigen vegetabilischen und animalischen Stoffe, welche unter der Wirkung des Sonnenlichtes besonders gut gedeihen, für die in diesem Lichte hervortretenden höheren Farben eine grössere chemische Empfindlichkeit haben.

Bei den vegetabilischen und animalischen Stoffen kömmt alsdann in höherem Grade als bei den anorganischen Stoffen ausser der rein chemischen oder stofflichen Wirkung noch die Wirkung in Betracht, welche direkt auf die formbildende oder Vegetationskraft gerichtet ist. Endlich hat man bei denjenigen animalischen Gebilden, welche den geistigen Funktionen zum Träger dienen, also insbesondere bei der Substanz des Sehnerven mehr als bei allen anderen animalischen und bei allen vegetabilischen und anorganischen Stoffen die Einwirkung auf die geistige Kraft zu berücksichtigen.

Ganz fehlen können übrigens die Beziehungen zur Vegetations- und zur Geisteskraft bei keinem Stoffe: denn diese beiden Kräfte sind, wie ich annehme und schon in der Schrift „Körper und Geist Abschn. IV“ zu motiviren gesucht habe, Eigenschaften, welche der Materie schlechthin zukommen, und welche nach ihren Grundanlagen, wennauch noch nicht entwickelt und zur Hervorbringung von Organismen und Individuen noch nicht geeignet, der Materie im anorganischen Zustande inhäriren.

Demgemäss wirkt das Licht belebend oder lebenerweckend, d. h. anregend in Beziehung auf Lebens- oder Vegetationskraft, ganz abgesehen von rein chemischer Thätigkeit.

Ebenso reagirt das Licht auf die geistige Kraft der Materie und insofern geisterweckend.

Mancher wird diese Ansichten belächeln, Mancher sie verabscheuen: mir schweben sie vor wie unumstössliche, heilige Wahrheiten der Natur, welche die unendliche Mannichfaltigkeit der Welt in einen vernünftigen, gesetzlichen Zusammenhang verflechten und eben durch die Vorstellung einer hohen Begabung selbst des Kleinsten das Gefühl der Bewunderung und Anbetung erhöhen, welches wir bei fortschreitender Erkenntniss der Werke Gottes empfinden.

Indem wir das Licht als ein Reagens für alle Eigenschaften der Materie erkennen, müssen wir die Überzeugung fassen, dass der natürliche Schwingungszustand, also die natürliche Farbe eines Stoffes in vieler Hinsicht ein sprechender Ausdruck für seine Grundeigenschaften ist. Dieser Schwingungszustand, welcher allein durch die Beziehungen bedingt ist, in welchen der Äther zum Ponderabelen steht, wird, da diese Beziehungen auch die chemischen Eigenschaften bedingen, mit der stofflichen Zusammensetzung des Körpers in nahem Zusammenhange stehen. Jeder besondere Körper muss sich daher durch eine besondere Farbe auszeichnen.

Das wahre Wesen einer Farbe, welche in Wirklichkeit fast immer eine Mischfarbe ist, also ein System aus unendlich vielen Schwingungszuständen darstellt, kann durch den einfachen Anblick nicht erkannt werden, weil sich hierbei alle Farbenelemente zu einer gemeinsamen Resultante verschmelzen. Jenes System muss also behuf der genaueren Erkenntniss zergliedert werden. Diess geschieht durch Brechung oder durch Darstellung des Spektrums jener Farbe, indem sich hierbei die einzelnen Farbenelemente durch Dispersion trennen. Dieses Verfahren, die Spektralanalyse, wird daher über wesentliche chemische Verhältnisse Aufschluss ertheilen. Ein Vibrationssystem, welches als ein Untersystem in dem Gesammtsysteme enthalten ist, wird sich in vielen Fällen erkennen lassen. Ein jeder in dem gegebenen Körper als selbstständige chemische Verbindung enthaltene Bestandtheil, welcher ein selbstständiges natürliches Schwingungssystem besitzt, wird wenigstens die Grundzüge dieses Systems zur Geltung bringen. Zu denjenigen Grundzügen eines Vibrationssystems, welche sich mit grosser Beharrlichkeit unter den verschiedensten Einflüssen erhalten, gehört die Vibrationsgeschwindigkeit, worauf die Erscheinung der Farbe beruht. Demnach werden die chemischen Grundbestandtheile eines Körpers ihre spezifische Farbe im Spektrum möglichst gut zur Geltung bringen.

Allerdings ist die Verbindung eine Fessel, wodurch das Vibrationssystem mehr oder weniger geändert wird. Wir haben ja schon mehrfach erfahren, dass die Resultante zweier mechanischen Systeme nicht eine einfache Summe darstellt. Am besten werden daher die Bestandtheile ihre Selbstständigkeit bewahren, je schwächer die Fessel der Vereinigung ist. Unstreitig findet Diess, wenn man den fraglichen Körper in ver-

schiedenen Aggregat-, Wärme- und Helligkeitsverhältnissen betrachtet, statt, erstens, wenn derselbe gasförmig, zweitens, wenn er möglichst stark erhitzt und drittens, wenn er möglichst hell erleuchtet ist, also überhaupt, wenn er durch eine Flamme verflüchtigt wird.

In diesem Zustande werden in der That die Spektralanalysen angestellt. Es zeigt sich alsdann, dass die natürlichen Farben der chemischen Elemente und Fundamentalverbindungen unveränderlich und einfacher als die der zusammengesetzteren Körper sind, auch dass dieselben häufig nur scharf begrenzte Theile des Spektrums einnehmen, welche wegen des relativen Mangels der Nebenfarben oft das Aussehen heller Linien oder heller Streifen annehmen.

Im starren und tropfbaren Zustande ist der Zwang der Vereinigung, welcher sich im starren Zustande sogar als Struktur oder Krystallisation ausspricht, so gross, dass in dem Gesammtsysteme, welches die natürliche Farbe darstellt, nicht mehr das Partikelchen des einen Elementes neben dem Partikelchen des anderen Elementes unabhängig schwingen kann. Beide Schwingungen beeinflussen sich und bewirken, dass sich ein stetiger Übergang zwischen jenen beiden Schwingungen bildet, dass also fast jeder zwischen jenen Grenzen liegende Schwingungszustand von gewissen Partikelchen vollführt wird.

Demgemäss sind die Spektren der starren und tropfbaren Körper mehr stetig und über den ganzen Umfang des Sonnenspektrums ausgedehnt. Der Unterschied für verschiedene Körper liegt dann nur in der verschiedenen Vertheilung der Grundfarben über das Spektrum oder in der verschiedenen Lichtintensität der einzelnen Theile des Spektrums.

Ich möchte noch hervorheben, wie die erstaunliche Mannichfaltigkeit der Vibrationszustände, welche aus dem Umfange und der Zusammensetzung eines Spektrums hervorleuchtet, und welche eine ebenso grosse Zahl von besondern Vertretern unter den Partikelchen einunddesselben Massentheilchens voraussetzt, uns zu der Annahme nöthigt, dass die Verbindung zwischen dem Äther und dem Ponderabelen zu einem solchen Massentheilchen oder Moleküle keineswegs als etwas Einfaches anzusehen ist, sondern eine Welt von Mannichfaltigkeit in sich schliesst.

Aus dieser grossen Mannichfaltigkeit, welche zwischen dem Äther und dem Ponderabelen in einem Massentheilchen besteht, folgt zugleich, dass in einem solchen Theilchen durch die Einwirkung des Lichtes mancherlei chemische und physikalische Veränderungen vor sich gehen werden, welche theils vorübergehend, theils dauernd sind.

Eine vorübergehende Änderung dieser Art zeigt sich schon in der Diffusion. Wenn ein Körper von den Strahlen eines Lichtes getroffen wird, kömmt er in Vibration. Die Vibrationen sind zweierlei Art: einmal vibrirt der Körper nach den Gesetzen des Systems, welches er darstellt und zeigt dadurch seine natürliche Farbe; andererseits wird er auch zu Vibrationen gezwungen, welche ihm ganz fremd sein können, und welche dem Schwingungssysteme der erregenden Strahlen angehören, in Folge dessen der Körper zugleich die Farben des erleuchtenden Lichtes oder verwandte Farben (Fluoreszenzfarben) zeigt.

Diese Erscheinung ist, wie gesagt, vorübergehend; sie hört auf, wenn die Erleuchtung aufhört, oder dauert doch nur bei phosphoreszirenden Körpern etwas länger fort. Allein wenn auch die Erscheinung in Folge der Erlöschung der Bewegung aufhört; so geht sie doch nicht vorüber, ohne eine bleibende Wirkung zu hinterlassen. Diese bleibende Wirkung ist theils chemischer Natur, d. h. sie betrifft die chemischen Gruppirungen, theils ist sie physikalischer Natur, d. h. sie betrifft das Verhältniss des Äthers zum Ponderabelen in diesen Gruppirungen.

In Folge dieser bleibenden Veränderung wird der Körper gewisse Eigenschaften annehmen, welche sich in gar verschiedener Weise dokumentiren können, namentlich wird seine natürliche Farbe hierdurch eine dauernde Veränderung erleiden. Die Art und Weise oder die Richtung, nach welcher ein gegebenes Licht die natürliche Farbe eines Körpers dauernd ändert, hängt theils von jenem Lichte, theils von diesem Körper ab, ist also gewissermassen die Resultante zweier Komponenten. Die eine Komponente, welche mehr von dem Körper, als von dem erregenden Lichte abhängt, tritt in ziemlich gleicher Weise immer auf, wenn überhaupt der Körper durch Lichtstrahlen erschüttert wird, gleichviel welche Farbe diese Strahlen haben: sie ist es vornehmlich, welche dem Jod- und Bromsilber die bräunliche Farbe ertheilt.

Die andere Komponente, welche mehr vom erregenden Lichte, als von dem erschütterten Körper abhängt, ertheilt jedem Körper dauernd die Farbe des erleuchtenden Lichtes. Diese Behauptung mag gewagt erscheinen: ich spreche sie aber mit fester Überzeugung aus und glaube auch Belege dafür beibringen zu können.

Ist schon die spezifische Veränderung der natürlichen Farbe eines Körpers durch das Licht für die meisten Körper sehr schwach und nur für wenige Körper (die photographischen) von Erheblichkeit; so ist die Veränderung dieser Farbe im Sinne des erleuchtenden Lichtes für die bekannten Körper im Allgemeinen noch schwächer und desshalb bis jetzt nicht gehörig beobachtet. Allein bei gesteigerter Intensität des Lichtes tritt die Thatsache deutlicher hervor. Ich behaupte, dass jede Photographie die natürlichen Farben der Objekte trägt, wenngleich der Anflug dieser Färbung gegen die allgemeine Bräunung sehr zurücksteht. Aber bei intensiver Erleuchtung einer Photographie macht sich jene Färbung deutlicher bemerkbar. In letzterer Zeit werden auf den Messen Glasphotographien gezeigt, welche, durch eine Linse vergrössert und durch ein Kalklicht stark erleuchtet, gegen eine weisse Wand geworfen werden. In diesen Bildern tritt die natürliche Farbe der verschiedenen Gesteine, der rothen Ziegeldächer, der gemalten Häuser, der grünen Bäume, der weissen Gipsfiguren u. s. w. unzweideutig hervor.*) In

*) Zur Vermeidung von Missverständnissen ist es vielleicht gut zu bemerken, dass der vorstellende Künstler die Landschaften durch Vorhaltung und allmähliche Entfernung eines blauen Glases aus einem blauen Nebel hervortreten und ebenso in einen blauen Nebel wieder verschwinden lässt, auch dass auf manchen Bildern, namentlich den Darstellungen weisser Gips- und Marmorfiguren, der Grund rings um die Figur theils mit einer schwarzen Deckfarbe, theils mit einer lichtdurchlassenden rothen Farbe bemalt ist, um die Figur durch Licht- und Farbenkontrast zu he-

schwachem Grade erkennt übrigens schon das unbewaffnete Auge in jeder Photographie einen schwachen Auflug der natürlichen Farben.

Das Problem der Farbenphotographie ist hiernach im Prinzipe mit der gewöhnlichen Photographie gelös't und schon lange unbewusst ausgeübt. Praktisch ist dieses Verfahren nur desshalb nicht, weil die bisher angewandten photographischen Körper zu schwach auf die Farben reagiren. Die Aufgabe der Zukunft besteht nur darin, solche Chemikalien zu ermitteln, welche in dieser Hinsicht empfindlicher sind.

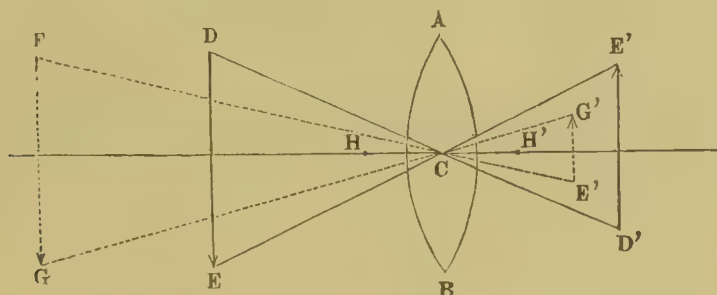
§. 3.

Optische Begriffserklärungen.

Wir schicken den Betrachtungen über die Gesetze des Sehens einige Sätze voran, welche sich aus den bekannten Lehren der Optik leicht ergeben.

1. Linsenbild. AB (Fig. 15) sei eine einfache konvexe Linse, DE ein Gegenstand oder Objekt, $D'E'$ sein optisches Bild, d. h. diejenige dem Objekte ähnliche Figur, in welcher sich die vom Objekte ausgehenden Strahlen nach dem Durchgange und der Brechung durch die Linse durch-

Fig. 15.



kreuzen. Das Bild ist ein wirkliches oder ein Sammelbild, wenn diese Durchkreuzung wirklich stattfindet, wenn also die Strahlen beim Austritte aus der Linse konvergiren, dagegen ein virtuelles, wenn, wie bei jeder konkaven Linse, die Strahlen nach dem Austritte divergiren, sich also nicht wirklich, sondern in ihren rückwärts liegenden Verlängerungen kreuzen. Entfernt sich der Gegenstand weiter von der Linse bis FG; so rückt sein Bild $F'G'$ näher an dieselbe heran. Die grösstmögliche Annäherung des Bildes an die Linse entspricht dem Abstande des Brennpunktes H', und hier entsteht das Bild, wenn der Gegenstand in unendliche Entfernung von der Linse rückt, sodass alle seine Strahlen parallel einfallen. Die grösstmögliche Annäherung des Gegen-

---

ben. Alles Diess sind unwesentliche Nebensachen: das Bild des eigentlichen Objektes, welches mit einem sehr lebhaften Anfluge seiner natürlichen Farben erscheint, entspringt unmittelbar aus einer gewöhnlichen Glasphotographie durch Erleuchtung mit weissem Lichte.

standes an die Linse entspricht dem vorderen Brennpunkte H; bei grösserer Annäherung entsteht hinter der Linse kein wirkliches Bild mehr, sondern die Strahlenbündel divergiren daselbst, erzeugen also ein virtuelles Bild.

2. Krümmung der Linse. Je konvexer die Linse ist, desto näher rückt das Bild $D' E'$ des Gegenstandes DE an die Linse heran und umgekehrt, je flacher die Linse ist, desto weiter entfernt sich das Bild von der Linse.

Soll also der Gegenstand DE, nachdem er in die entferntere Lage FG gerückt ist, sein Bild in dem früheren Abstande, also in der Linie $D' E'$ behalten; so muss eine flachere Linse an die Stelle der früheren gesetzt werden, und umgekehrt.

3. Verrückung der Linse. Wollte man, indem man den Gegenstand DE verrückte, zugleich die Linse verrücken; so könnte auch ohne Änderung der Konvexität der Linse das Bild in der früheren Vertikalen $D' E'$ festgehalten werden. Mit einer Entfernung des Gegenstandes nach links müsste alsdann eine Verrückung der Linse nach rechts oder eine Annäherung der Linse an die Vertikale $D' E'$ verbunden sein.

Im Allgemeinen können also diese beiden Veränderungen der Form und des Ortes der Linse zum Zweck der Festhaltung des Ortes des Bildes gemeinschaftlich in Anwendung gebracht werden.

4. Brechungskoeffizient. Wenn der relative Brechungskoeffizient für den Übergang eines Lichtstrahles aus dem Medium vor der Linse und der Substanz der Linse grösser wird, rückt das Bild $D' E'$ näher an die Linse heran, und umgekehrt.

Wird also die vor der Linse befindliche Luft durch Wasser ersetzt, der Brechungskoeffizient also verkleinert; so entfent sich das Bild von der Linse.

Wird dagegen jene Luft durch dünnere Luft oder durch Wasserdunst ersetzt, der Brechungskoeffizient also vergrössert; so nähert sich das Bild der Linse.

5. Bilder der verschiedenfarbigen Strahlen. Wenn $D' E'$ das Bild des Gegenstandes DE für Strahlen ist, welche die mittlere Brechbarkeit des weissen Lichtes haben; so werden die weniger brechbaren rothen Strahlen ein entfernteres und die stärker brechbaren violetten Strahlen ein näheres Bild erzeugen.

6. Sehwinkel. Die zwischen den korrespondirenden Punkten des Gegenstandes und des Bildes gezogenen geraden Linien DD', EE' durchschneiden sich in demselben Punkte C der Linse, wie nahe oder wie fern auch der Gegenstand von der Linse liege. Der Gesichtswinkel oder Sehwinkel $DCE = D'CE'$ oder $FCG = F'CG'$ ist also von der Konvexität der Linse und demnach auch von der Lage und Grösse des Bildes, sowie von dem äusseren Medium unabhängig.

7. Chromatische und sphärische Aberration. Bei einer vollkommen achromatischen und aplanatischen Linse konvergiren alle von

einem Punkte D ausgehenden Lichtstrahlen in dem Punkte D', welcher das Bild von D ist. Wird also jenes Strahlenbündel auf einem durch D' gehenden Schirme JK aufgefangen; so stellt sich von dem Punkte D ein scharfes Bild wiederum als Punkt dar. Geht der Schirm jedoch nicht durch D'; so verwandelt sich das Bild des Punktes in eine Scheibenfläche.

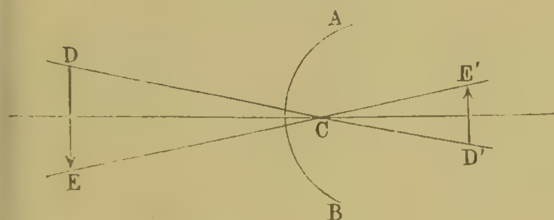
Auf einem festen Schirme, welcher eine bestimmte Entfernung von der Linse einnimmt, können also mittelst dieser Linse nur Bilder von solchen Gegenständen dargestellt werden, welche ebenfalls in einer bestimmten Entfernung vor der Linse liegen.

Im Übrigen weiss man, dass mit einer einfachen Linse aus homogener Substanz niemals ein völlig scharfes Bild erzeugt werden kann: denn wegen der verschiedenen Brechbarkeit der einfachen Farben, aus welchen das durch die Linse gehende, von einem Punkte des Objektes herkommende Licht besteht, konvergiren dieselben nicht genau in einem Punkte. Diese Abweichung der verschiedenfarbigen Strahlen in Folge der Dispersion heisst die chromatische Aberration und die damit behaftete Linse chromatisch. Ein Linsensystem, welches die chromatische Aberration aufhebt, ist ein achromatisches.

Ausserdem vereinigen sich bei einer nach Kugelflächen geschliffenen Linse die Randstrahlen nicht gehörig mit den Zentralstrahlen; es findet also bei einer Linse von dieser Form eine Zerstreuung selbst der Strahlen von einfacher Farbe statt, die sogenannte sphärische Aberration. Ein von dieser Aberration befreites Linsensystem heisst aplanatisch.

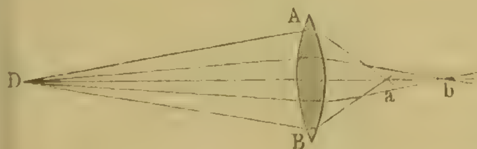
8. Medium mit einseitiger Begrenzung. Für gewisse Erscheinungen ist das Auge weniger gut mit einer Linse, als mit einem Medium zu vergleichen, welches nur an der Vorderfläche durch eine Kugelschale AB (Fig. 16) begrenzt ist, nach hinten aber unbegrenzt ist, sodass das Sammelbild $D'E'$ des Objektes DE innerhalb jenes brechenden Mediums liegt.

Fig. 16.



Von diesem Systeme gelten alle vorstehenden Sätze in der Allgemeinheit, wie sie vorgetragen sind, nur in Beziehung auf das Mass der verschiedenen Dimensionen und Abweichungen findet selbstverständlich eine Verschiedenheit statt.

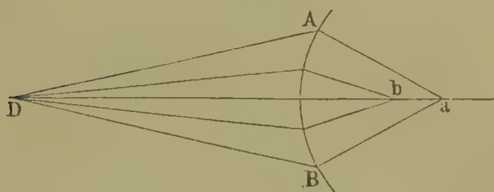
Fig. 17.



Diese Verschiedenheit hat namentlich für die Aberration eine besondere Bedeutung. Während nämlich bei der bikonvexen Linse in Fig. 17 und bei den gewöhnlichen Entfernungen des Objektes die Randstrahlen in

einem Punkte a konvergiren, welcher näher an der Linse liegt, als der Konvergenzpunkt b der Zentralstrahlen; so findet bei dem unbegrenzten Medium Fig. 18 das Umgekehrte statt, indem der Konvergenzpunkt a der Randstrahlen über den Vereinigungspunkt b der Zentralstrahlen hinausrückt.

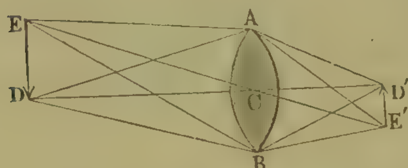
Fig. 18.



In vorstehender Beziehung spielt das Auge übrigens nicht die Rolle eines einfachen Mediums, sondern die einer bikonvexen Linse: die Randstrahlen konvergiren vor den Zentralstrahlen. Spezieller sind diese Verhältnisse in §. 8 entwickelt.

9. Linsensystem. Wenn die Krümmung der brechenden Flächen kugelförmig und gegeben oder unveränderlich ist; so kann die Aberration der Strahlen des Bündels ADB (Fig. 19) nur unter der Voraussetzung auf Null gebracht werden, dass das optische System nicht bloss eine einzige brechende Oberfläche, sondern deren mehrere haben und zur Konzentration einer unendlichen Menge von Strahlen würden streng genommen unendlich viele brechende Flächen gehören.

Fig. 19.



Die schalenförmige Struktur der Linse im Auge, sowie auch die Zusammensetzung des Ganzen aus einer Linse und zwei Kammern entspricht diesem Bedürfnisse.

10. Linsenform. Nehmen wir nun an, für ein Strahlenbündel ADB dessen Axe in der Axe der Linse liegt, finde eine gute Konzentration aller Strahlen in einem Punkte D' statt. Alsdann ist noch nicht gesagt dass sich auch die Strahlen eines Bündels AEB, dessen Hauptstrahl EC gegen die Linsenaxe geneigt ist, in einem Punkte E' konzentriren werden. Näherungsweise wird Diess zwar der Fall sein, wenn der Winkel ECD nicht zu gross ist. Allein, wenn auch die Konzentration in E' gut genug wäre; so wird, wenn die brechenden Flächen Kugelflächen sind, der Punkt E' gegen D' nicht dieselbe Lage haben, wie E gegen D; demgemäss wird $D'E'$ kein richtiges, dem Objekte DE geometrisch ähnliches Bild sein.

Um also ein in allen Theilen richtiges und scharfes Bild eines Gegenstandes zu erzeugen, müssen die Flächen der Linse eine bestimmte Gestalt haben, welche nicht die der Kugel ist. Diese Gestalt muss sogar, wenn man das Bild durch eine einfache Linse erzeugen will, mit der Lage und Grösse des Objektes geändert werden.

Die Gestalt, welche die Linsenflächen bei grösseren Objekten und überhaupt bei der Vergrösserung des Sehwinkels, also auch

bei der Annäherung desselben Objektes behuf Erzeugung eines richtigen Bildes annehmen müssen, nähert sich nach Fig. 20 der eines Paraboloides, oder überhaupt der Form des Umwälzungskörpers einer Kurve BCA, deren Krümmung vom Scheitel C nach den Rändern hin abnimmt.

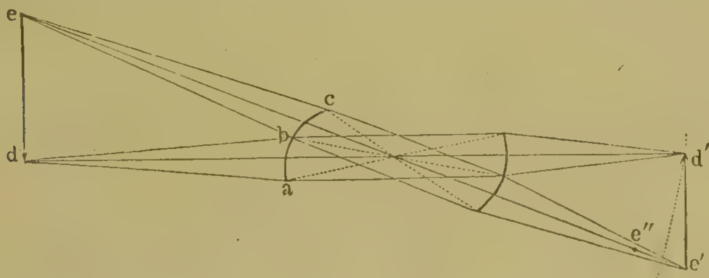
Fig. 20.



Für einen grösseren Sehwinkel muss übrigens sowohl die bikonvexe Linse (Fig. 17) wie auch die konvexe Vorderfläche eines nur einseitig begrenzten brechenden Mediums (Fig. 18) eine paraboloidische Gestalt annehmen, d. h. es muss sich der Krümmungshalbmesser vom Scheitel nach den Rändern vergrössern oder die Krümmung sich abflachen. Man übersieht dieses Gesetz leicht auf folgende Weise.

Angenommen, für den Strahlenkegel $a\,d\,b$ (Fig. 21), dessen Haupt- oder Zentralstrahl in der Axe der Linse liegt, sei die Krümmung der

Fig. 21.



Linie ab die rechte, um die Randstrahlen $d\,a$, $d\,b$ mit dem Mittelstrahle in demselben Bildpunkte d' zu vereinigen. Ferner sei e ein vertikal über d liegender zweiter Punkt des Objektes in grosser Nähe von d. Da e weiter von der Linse entfernt ist als d; so würden, wenn die Krümmung des ferneren Elementes bc der Linse gleich der des ersten ab wäre, alle von e ausgehenden Strahlen in einem Punkte e'' konvergiren, welcher näher an der Linse läge, als d', also ein falsches Bild vom Objekte entwerfen: ausserdem würden die Randstrahlen eb, ec gegen den mittleren Hauptstrahl Aberration zeigen. Beides wird dadurch beseitigt, dass das zweite Element bc einen grösseren Krümmungshalbmesser erhält.

Eine Fortsetzung dieser Betrachtung führt zu der paraboloidenartigen Gestalt der Linse oder des Mediums mit einfacher brechender Oberfläche.

Die eben besprochene paraboloidische Gestalt ist, wie wir eben gesehen haben, zur Erzeugung eines richtigen Bildes nöthig.

Um eine vollkommene Aplanation oder ein scharfes Bild zu erhalten, ist übrigens im Allgemeinen ebenfalls die Kugelgestalt der brechenden Flächen nicht ganz geeignet, vielmehr eine andere Krümmungsform günstiger. Für eine einfache Linse ist diese Form, wie leicht zu erachten, die vorstehend beschriebene paraboloidenartige, weil durch diese Form der Konvergenzpunkt der Randstrahlen weiter hinausgeschoben, also zur besseren Vereinigung mit dem Konvergenzpunkte der Zentralstrahlen gebracht wird.

§. 4.

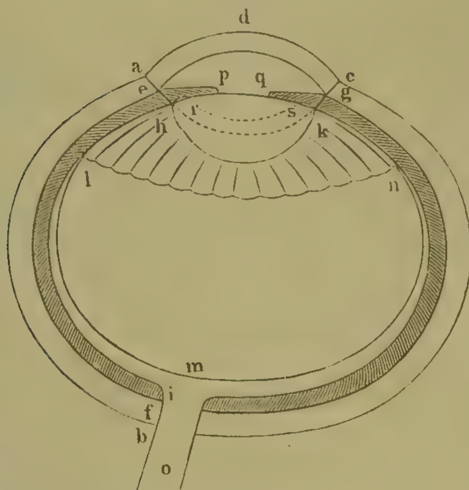
Bau des Auges.

1. Generelle Beschreibung des Auges. Da ich die Abbildunge und Beschreibungen des Auges in verschiedenen physiologischen und phy sikalischen Büchern unvollständig und ungenau, auch nicht übereinstim mend fand, versuchte ich, die Einrichtung des Auges aus eigener An schauung kennen zu lernen. Ich gebe im Nachstehenden die Beschreibun des Auges nach meinen Wahrnehmungen, welche ich übrigens durch da Werk von Ruete über Ophthalmologie kontrolirt und ergänzt hab

Zuvörderst bemerke ich, dass ich nur Ochsen-, Kalbs-, Hammel- un Schweineaugen, keine Menschenaugen zu untersuchen Gelegenheit hatte, da jedoch nach der Versicherung der Physiologen die Augen jener Thier sowie überhaupt die Augen aller höheren Säugethiere mit dem mensch lichen Auge in allen wesentlichen Punkten übereinstimmen.

Will man die wichtigsten Organe des Auges mit kurzen Worten her vorheben, um erst eine allgemeine Vorstellung davon zu erwecken; so be steht der Augapfel (*bulbus*), welcher in der Augenhöhle (*orbita* liegt, aus einer äusseren Hülle *abcd* (Fig. 22) von sehr zäher Mass Diese Hülle ist auf dem hinteren, bei weitem grösseren Theile *abc* un durchsichtig und heisst daselb die harte Haut oder Seh nenhaut (*tunica sclerotica*); au dem vorderen Theile *adc* i jene Hülle durchsichtig und e was stärker gewölbt und heis hier die Hornhaut (*tunic cornea*). Auf der harten Ha liegt im Innern des Aug die Aderhaut oder Gefäs haut (*tunica choroidea*). Die Haut enthält die Blutgefässe zahlloser Masse; sie ist an ihr Aussenseite *efg* von eine schwarzen Pigment durc zogen, während die innere Sei *hik* eine undurchsichtige glat Spiegelfläche von dunkeler Far bildet.

Fig. 22.



Häufig lies't man, dass die Innenfläche der Aderha oder wohl gar die Netzhaut mit einem schwarzen Pigmente übe zogen sei, was ganz falsch ist. Ein reiner Pigmentüberzug find sich nirgends. In der Hauptmasse ist das Pigment in der äusser Schicht der Aderhaut zwischen den Blutgefässen angehäuft. In der inn sten Schicht fehlt das Pigment freilich auch nicht, indem dasselbe dies Schicht ihre dunkele Farbe verleiht: allein dasselbe steht hier zu d

laut doch in keinem anderen Verhältnisse, wie der Farbstoff zu dem ge-ärbten Gewebe.

Über der Aderhaut zieht sich die Netzhaut (*retina*) *l m n* hin. Diese Haut bildet gewissermassen die Ausbreitung des Sehnerven (*ner-us opticus*) *o m*, welcher den Augapfel nicht in der Mitte oder in der ehaxe, sondern etwas seitwärts (nach der Seite des anderen Auges oder er Nase) durchdringt.

Die Netzhaut ist durchsichtig, jedoch nicht wasserhell, einem milch-eissen Schleier zu vergleichen. Wenn sich die abgezogene Netzhaut ltet und verdickt, ist sie fast undurchsichtig. Diess beruht nicht allein uf der Anhäufung der feinen Nervenfäden, sondern auch auf der vom ntensiven Sonnenlichte bewirkten Trübung dieser Haut, wodurch sich die ohe Empfindlichkeit dieser Haut für das Licht bekundet.

In dem vorderen Theile der Augenhöhle liegt die Linse (*lens*) oder rystalllinse (*lens crystallina*) *h k*, deren hintere Fläche stärker ge-ölbt ist, als die vordere.

Der Raum vor der Linse, die vordere Augenkammer, ist mit der ässrigen Augenfeuchtigkeit, dem Augenwasser (*humor queus*), der grosse Raum hinter der Linse, die hintere Augenkammer, agegen mit dem Glaskörper (*corpus vitreum*) oder der Glasfeuch-gkeit (*humor vitreus*) ausgefüllt.

Vorn legt sich über die Linse, als Verlängerung der Aderhaut, die egenbogenhaut oder Iris (*iris*), welche in der Mitte eine runde ffnung, das Sehloch oder die Pupille (*pupilla*) *p q* hat *). Aderhaut nd Regenbogenhaut zusammen tragen auch den Namen der Uvea.

Die durch die Pupille eintretenden Lichtstrahlen werden durch das ugenwasser, die Linse und den Glaskörper gebrochen und so konzen-irt, dass sie auf der Aderhaut ein Sammelbild des äusseren Objektes ilden. Häufig wird gesagt, dieses Lichtbild entstehe auf der Netzhaut: iess ist unrichtig; das Bild liegt unter der Netzhaut, zwischen die-r Haut und der Aderhaut, auf der Jacobischen Haut: wenn ir also im Folgenden der Kürze wegen den vielgebräuchlichen Ausdruck uf der Netzhaut beibehalten; so verstehen wir hierunter stets die ussere Fläche der Netzhaut.

Von dem Kreise *l n*, wo die Netzhaut aufhört, zieht sich in radialen lten über den vorderen Theil des Glaskörpers und über den Rand der inse, also bis zu dem Kreise *r s*, eine mit schwarzem Pigment getränkte aut, der Ziliarkörper oder Strahlenkörper (*corpus ciliare*).

Die Augenlider (*palpebrae*) öffnen und schliessen das Auge.

2. Speziellere Beschreibung. — Harte Haut. Die vorstehende nerelle Beschreibung ist durch folgende Einzelheiten zu ergänzen.

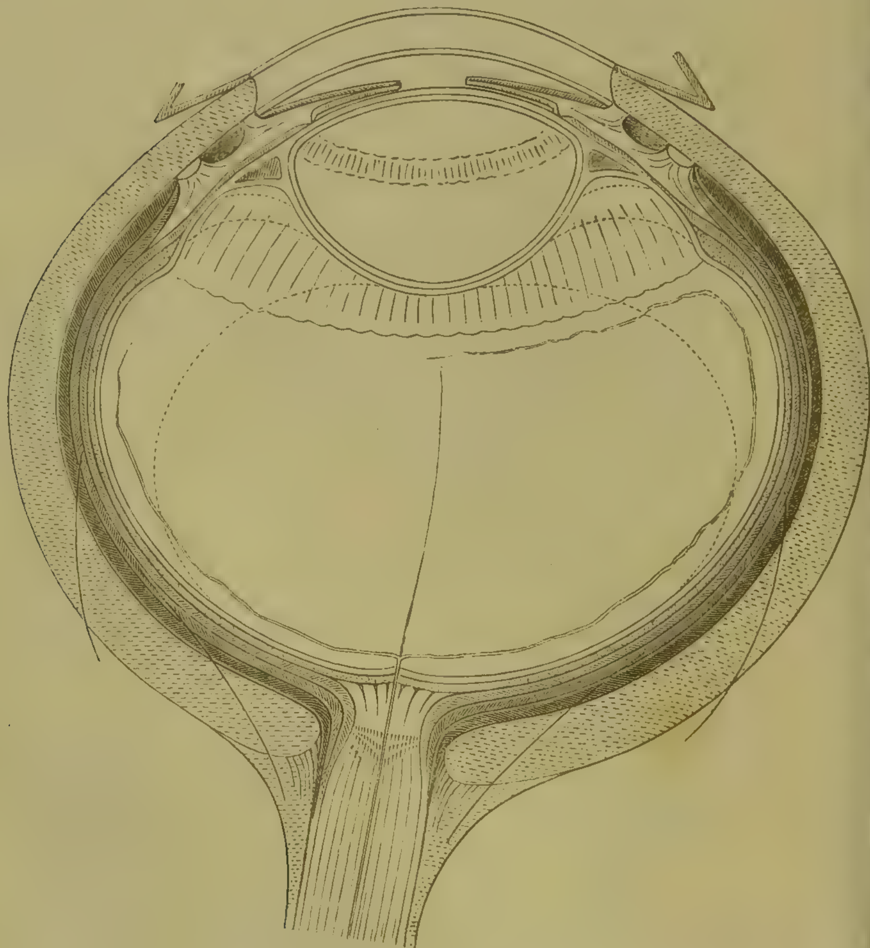
Zuvörderst muss hervorgehoben werden, dass während die Netz-ut und der Sehnerv die direkten Verlängerungen der Gehirnmasse nd, die um die Netzhaut im Auge gelagerten Häute, welche sich mit

*) So genannt von dem verkleinerten Ebenbilde (*pupulus*, Diminutiv von *pupus*, iner Knabe), welches man von sich in der Pupille eines Anderen erblickt.

verminderter Dicke als äussere Hüllen des Sehnerven bis zum Gehirne fort-
setzen, die Erweiterungen der das Gehirn selbst umschliessenden Gehirn-
häute darstellen, und zwar ist die äusserste Haut des Augapfels, d. h.
die harte Haut, welche vorn die Hornhaut bildet, die Fortsetzung der
äussersten Gehirnhaut oder der *dura mater*.

3. Aderhaut. Die Aderhaut zerfällt in drei Schichten. Die
äussere Schicht, die eigentliche Ader- oder Gefässhaut, enthält die Blut-
gefässe (Arterien und Venen) in zahlloser Menge, meistens in der Rich-
tung vom Sehnerven nach vorn verlaufend. Diese Adern sind sorgfältig
in schwarzes Pigment gebettet, welches alle Gefässe umzieht und
besonders in der äusseren Fläche sich häuft. Die mittlere Schicht, die
Ruyschianische Haut (*tunica Ruyschiana*) ist ebenfalls Gefässhaut;
in ihr nehmen aber die Blutgefässe die Haarröhrchengestalt an.
Diese beiden Schichten, welche demselben Zwecke zu dienen scheinen,
nämlich dem Zwecke, das Blut in die Lage zu bringen, die zu jeder Kraft-

Fig. 23.



entwicklung erforderliche Reaktion zwischen Blut und Nervensubstanz auszuüben, sind die Ausläufer der mittleren Gehirnhaut (*choroidea cerebri*).

Auf diesen beiden Schichten liegt als innerste Schicht der Aderhaut die Jacobische Haut (*tunica Jacobi*), eine in der Nähe des Sehnerven bei den Thieren verschiedenartig, meistens grünlich blau, sonst aber schwarz gefärbte feine und glatte Haut. Dieselbe ist die Fortsetzung der inneren Gehirnhaut oder der *pia mater*. Auf ihr spiegelt sich das Lichtbild.

Über der letzteren Haut liegt, wie schon erwähnt, die Netzhaut, welche der direkte Ausfluss der Gehirnmasse ist. In Fig. 23 sind diese Verhältnisse deutlicher dargestellt.

Die harte Haut ist mit punktirten Strichen schraffirt, die drei Schichten der Aderhaut sind mit vollen Strichen schraffirt, die Netzhaut ist punktirt und die darauf liegende Kapsel des Glaskörpers (Hyaloidea) ist gar nicht schraffirt. Diese Figur stellt auch die übrigen Elemente des Auges und ihre Verbindung möglichst vollständig dar, ohne jedoch die natürlichen Dimensionen streng innezuhalten.

4. Ort des Lichtbildes. Das Bild der Aussenwelt wird also zwischen den Gehirnhäuten und der Gehirnmasse empfangen und vermittelst des Sehnerven, welcher die Netzhaut in ein Bündel von Nervenfäden verwandelt, auf das Innere des Gehirns übertragen. Die feine Jacobische Haut, welche das Lichtbild aufnimmt und zurückstrahlt, also gewissermaassen fesselt, liegt zwischen einer sehr ausgebreiteten und einen innigen Kontakt ermöglichenden Nerven- und Blutmasse, also zwischen denjenigen Substanzen, deren gegenseitige Reaktion bei jeder Nerventhätigkeit unerlässlich ist.

Das schwarze Pigmentbett, auf und in welchem die Blutgefässe der Aderhaut liegen, ist offenbar desshalb nöthig, um zu verhüten, dass das rothe und pulsirende Blut jener Gefässe durch seine Farbe und Bewegung auf die Netzhaut wirkt, also den Eindruck des Lichtbildes verändert. Zur Unterhaltung der Nerventhätigkeit der Netzhaut ist nur die chemische Thätigkeit des aus den Arterien ausschwitzenden Blutes erforderlich. Hierzu bedarf es aber keiner direkten Berührung der Adernstämme mit ihrem ganzen Kaliber, sodass dieselben zu Gunsten der vollkommenen Wirkung des Lichtbildes mit schwarzem Pigmente belegt, auch die Gewebe der feinen Jacobischen Haut mit Farbstoff durchzogen werden konnten. In den Augen der Albinos fehlt das Pigment in allen Schichten der Aderhaut: das rothe Blut scheint durch die Jacobische Haut hindurch und erzeugt ein durch die Pupille roth aussehendes Auge. Auch die Regenbogenhaut hat keinen Farbstoff und ist demzufolge röthlich. Geschöpfe dieser Art können die natürlichen Farben unmöglich rein, sondern nur mit einem röthlichen Anfluge empfinden und diese Thatsache müsste sich dadurch konstatiren lassen, dass sich bei jenen Geschöpfen der röthliche Anflug bei stärkerem Blutandrange nach den Augen verstärkt.

Dass die Vorderfläche der Aderhaut, die Jacobische Haut, welche das Lichtbild empfängt, undurchsichtig ist, mag übrigens noch

einen zweiten Grund zu haben, welcher in der Erhöhung der Lichtwirkung auf die Netzhaut vermöge der Reflexion liegt.

5. Hornhaut. Die harte Haut ist undurchsichtig bis an die Stelle, wo sie vorn in die Hornhaut übergeht. Die Hornhaut ist durchsichtig. Über ihr liegt eine feine Haut, die Bindehaut (*tunica conjunctiva*). Dieselbe ist, soweit die Hornhaut reicht, ebenfalls durchsichtig, weiterhin wird sie undurchsichtig und weiss bis an die Augenlider und giebt so dem Weissen im Auge die Farbe. Am Ochsenauge ist diese Haut jenseit der Hornhaut nicht weiss, sondern schwärzlich, sodass dieses Auge keine weisse, sondern eine schwärzliche Umrahmung hat. Über die Innenfläche der Augenlider setzt sich die Bindehaut ebenfalls fort.

Die Bindehaut hat sensibele Nerven, welche der eigentlichen Hornhaut fehlen. Desshalb schmerzt die Berührung derselben.

Unter der Hornhaut liegt eine feine durchsichtige, sehr glatte Haut, die Wasserhaut oder Wrisbergische Haut (*tunica Wrisbergi*) oder Descemetsche Haut. Wenn man das Auge kocht, ist die Wrisbergische Haut das einzige Element, welches nicht erblindet.

6. Besondere Details. Dass an jeder Stelle, wo eine Haut ihre Beschaffenheit ändert, sich ein ringförmiges Element um das Auge bildet, in welchem diese Haut mit den darunter und darüber liegenden Häuten fest verwachsen ist, sodass sich auch dieser Ring durch seine Textur unterscheidet, wird für den Mechanismus des Auges von Bedeutung sein. Man kann daraus schliessen, dass das Auge durch geeignete Nervenreize zu ringförmigen Veränderungen veranlasst werden kann, welche gleichzeitig alle Gebilde des Auges, sowohl die über einander liegenden, als auch die vor einander liegenden, theils vermöge der direkten mechanischen Verbindung, theils vermöge induktorischer Nervenwirkungen in Anspruch nehmen.

Die Aderhaut zieht sich über der harten Haut von hinten her bis zu einer nahe vor der Wurzel der Regenbogenhaut liegenden Stelle, wo sie vermittelst einer ringförmigen Muskelschnur, dem Spanner der Aderhaut (*tensor choroideae*), welcher fest auf der harten Haut sitzt, mit letzterer verwachsen ist. Dieser Spanner, ein weisslich blau gefärbter Muskel, welcher an seiner inneren Seite zugleich die Beschaffenheit einer Ader- oder Gefässhaut hat, ist zugleich die Wurzel der Regenbogenhaut; er trennt die Aderhaut und die Regenbogenhaut, ist aber mit beiden so verwachsen, dass er auch als der gemeinschaftliche Übergang beider angesehen werden kann. An der hinteren Partie, in der Nähe um den Sehnerven herum ist die Aderhaut an die harte Haut ziemlich fest gewachsen und zwar mittelst zahlreicher Fäden, welche aus der harten Haut entspringen und dieselbe auch mit ihren stärkeren Ästen durchdringen. Ebenso dringen Adern durch die harte Haut in die Aderhaut. Weiter nach vorn wird der Zusammenhang der Aderhaut mit der harten Haut immer loser und hört allmählich fast ganz auf. Übrigens charakterisirt sich diese Partie dadurch, dass einzelne starke Fäden in ziemlich regelmässiger Vertheilung (20 bis 40 an der Zahl) durch den unteren Theil

der harten Haut von aussen her eindringen, alsdann zwischen der harten Haut und der Aderhaut nach vorn fortlaufen, sich zuletzt gewöhnlich in zwei Äste zertheilen, wovon der eine an den eben erwähnten Spanner befestigt ist, während der andere noch weiter in die Regenbogenhaut und gegen die Linse hin vordringt. An diese lose auf der harten Haut liegenden Fäden ist der Länge nach die Aderhaut schwach angeheftet.

Fig. 24.



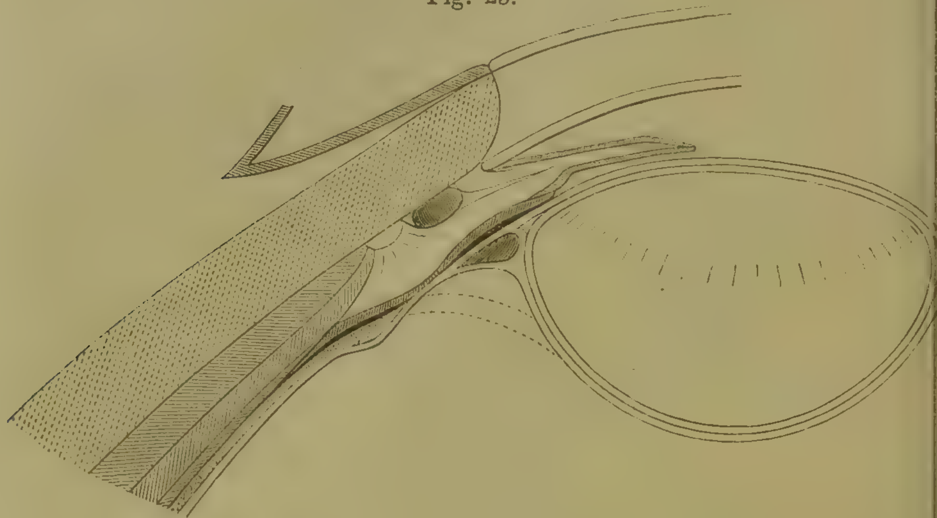
Übrigens befinden sich längs dieser Fäden einzelne Stellen, beim Ochsen- und Hammelauge fünf bis sechs, wo die Aderhaut von vorn nach hinten ziemlich tief hinunter fest an die harte Haut gewachsen ist. Diese Verwachsungen, welche bei jenen Thieraugen nicht ganz symmetrisch in der Augenhöhle vertheilt sind, bilden Streifen, welche hinten spitz sind und nach vorn sich verbreitern. Fig. 24 stellt diese Verwachsungen und Anheftungen dar.

Nach Ruete (Ophthalmologie S. 91 und 105), gestützt auf die Beobachtungen von Brücke, durchbohren 12 bis 20 Nervenstämme die harte Haut am hinteren Ende des Augapfels, laufen zwischen der harten und der Aderhaut nach vorn, geben der Aderhaut Äste ab, von welchen einige durch die Aderhaut gehen und sich mit der Netzhaut verbinden (theilweise auch nach meiner Wahrnehmung durch die Glashaut in den Glaskörper dringen). Die Hauptstämme treten in das Ziliarband und von dort in die Regenbogenhaut (wahrscheinlich werden hiervon auch Äste an und in die Linse dringen). Nach ihren äusseren Verhältnissen stimmt diese Beschreibung von Nerven, welche keinenfalls sensuelle, also unzweifelhaft motorische sind, mit den vorstehend genannten Fäden, welche bei oberflächlicher Betrachtung wegen ihrer äusserlich braunen Farbe und wegen ihrer nicht unbedeutenden Festigkeit als Gewebefasern erscheinen, so sehr überein, dass beide identisch sein werden. Es scheint mir jedoch, dass ein Theil dieser Nerven durch seine Umhüllung befähigt ist, die Funktionen von Muskelfäden oder Anheftungsmitteln zu verrichten.

Die Jacobische Haut begleitet die Aderhaut von hinten nach vorn mit abnehmender Dicke bis in die Nähe des eben erwähnten Spanners, woselbst sie so dünn wird, dass ich dieselbe nicht mehr verfolgen konnte. Rechts vom Sehnerven in Fig. 23 (a. S. 62), wo diese Haut die Lichtbilder empfängt, ist sie im Ochsen-, Kalbs-, Hammel- und Schweineauge glänzend und schillernd blaugrün, wesshalb diese Augen keine schwarze, sondern eine blaugrünliche Pupille zeigen. Diese Farbe geht weiter nach vorn in dunkeles Blau und endlich in Schwarz über. Links vom Sehnerven ist jene Haut schon vom Sehnerven an ziemlich schwarz. Beim Menschenauge soll die Jacobische Haut übrigens durchweg schwarz sein und nur bei Leichen will man rechts vom Sehnerven an der Stelle, wo sich die Lichtbilder des deutlichen Sehens erzeugen, einen gelben Fleck (*macula lutea*) bemerkt haben. Die Jacobische Haut ist allenthalben fest auf die Aderhaut gewachsen.

7. Regenbogenhaut. An dem vorhin erwähnten Spanner, mi welchem die Aderhaut fest an die harte Haut gewachsen ist, entspring zugleich die Regenbogenhaut (Fig. 25). Diese Haut bildet vermit

Fig. 25.



telst dieses Spannmuskels gewissermaassen die Fortsetzung der Aderhau nach vorn. Übrigens geht an dieser Stelle eine Veränderung der Farb und Struktur vor sich, sodass die Regenbogenhaut sich als selbstständige Organ deutlich markirt.

Etwas weiter nach vorn, und zwar an der Stelle, wo die Hornhau beginnt, ist die Regenbogenhaut zum zweiten Male fest an die harte Hau gewachsen. Zwischen diesem und dem vorher genannten Spannringe bil det sich zwischen der Regenbogenhaut und der harten Haut ein ringför miger Kanal, der Iriskanal (*canalis iridis*) oder der Schlemmsch Kanal (*canalis Schlemmii*), welcher ein Blutgefäss sein soll.

Die Regenbogenhaut besteht aus drei Schichten. Die untere auf de Linse liegende Schicht ist stark mit schwarzem Pigmente durchzogen ode vielmehr eine ziemlich gewebelose Pigmentschicht. Die mittlere Schich enthält eine grosse Menge Adern und solcher strahlen- und ringförmige Gebilde, welche sich zur Ausbreitung und Zusammenziehung jener Hau eigenen. Die obere Schicht, die Demourssche Haut, hat Ähnlichkei mit der Jacobischen Haut: sie ist im Hammel- und Schweineauge undurch sichtig und gelb; im Ochsenauge mit schwarzem Pigmente belegt; in Menschenauge durchsichtig, sodass man die Struktur und Farbe der mitt leren Haut erkennen kann.

Die Regenbogenhaut macht den Eindruck der Aderhaut mit der Jaco bischen Haut in umgekehrter Lage, wie es auch der Bestimmung jene Haut entspricht. Denn dieselbe ist mit ihrer äusseren Fläche dem Lichte ausgesetzt, was die Veranlassung zu der äusseren, der Jacobische Haut ähnlichen Demoursschen Haut abgeben mag, wogegen die inner Fläche vor der Linse schwebt, also nothwendig mit schwarzem Pigment überzogen sein muss, um zu verhindern, dass durch die Blutgefässe un

durch die Bewegung dieser Haut störende Lichtwirkungen im Auge erzeugt werden.

Die mittlere Schicht der Regenbogenhaut, welche die Hauptmasse der Gefässe und ausserdem die Bewegungsmuskeln enthält, hat von dem vorderen Rande des Iriskanals her etwa die Beschaffenheit einer doppelten Haut, von welcher besonders die obere Lage an diesem Rande an die harte Haut festgewachsen ist, während die untere Lage besonders an dem Spanner der Aderhaut festgewachsen ist, wo sie zugleich in die Aderhaut übergeht.

8. Ziliarkörper. Die Regenbogenhaut bildet auf dem Rande der Linse einen Art Wulst, der in Fig. 25 (auf voriger Seite) deutlicher dargestellt ist. Der Glaskörper besitzt an der Stelle, wo die Netzhaut aufhört, eine Rinne. Zwischen dieser Rinne und jenem Wulste breitet sich auf dem Glaskörper und der Linse der Ziliarkörper aus. Dieser Körper ist eine ziemlich dicke, aber aus feinen Gewebetheilen bestehende und stark mit schwarzem Pigment gesättigte Haut, welche einer erheblichen Dehnung nach allen Seiten fähig ist. Dieselbe verbindet den Glaskörper und die Linse mit der darauf liegenden Gefässhaut (Aderhaut, Spanner und Regenbogenhaut). Diese Verbindung hat drei wesentliche Momente. Um dieselben zu charakterisiren, muss man zunächst bemerken, dass der Glaskörper unter dem Ziliarkörper in radialer Richtung gefaltet ist und dass diese Falten sich scharf einziehen, wie Fig. 26 darstellt. Ebenso ist der Rand der Linse unter dem Ziliarkörper beschaffen, nur sind hier die Falten weniger tief. Den Falten des Glaskörpers und der Linse gegenüber ist die Aderhaut (resp. Regenbogenhaut) ebenfalls gefaltet, jedoch in sanfterer Wellenform, und zwar legen sich die Vorsprünge der Falten des Glaskörpers und der Linse in die Vertiefungen dieser Haut. Zwischen beiden Organen liegt der Ziliarkörper; derselbe füllt den Zwischenraum gut aus (Fig. 27).

Fig. 26.



Fig. 27.



Insofern man den Ziliarkörper nebst dem Spannmuskel als ein Zubehör und eine strahlenförmige Fortsetzung der Aderhaut ansieht, nennt man jenen Körper auch wohl die Ziliarfortsätze (*processus ciliares*) und den Spannmuskel das Ziliarband (*ligamentum ciliare* oder *orbiculus ciliaris*).

Was die erwähnten Verbindungen betrifft; so ist der Ziliarkörper in den radialen Falten sowohl an der Innenseite mit dem Glaskörper und der Linse, als auch an der Aussenseite mit der Gefässhaut verwachsen. Diese Verwachsung findet in den Erhabenheiten der Falten des Glaskörpers und der Linse und in den Vertiefungen der Falten der Gefässhaut statt und zwar mittelst feiner Gewebetheile, welche sich normal auf die Kugelgestalt stellen und dicht neben einander liegen (Fig. 28). Diese Verbindungsfäden zeigen einen ziemlichen Grad von Dehnsamkeit.

Fig. 28.



In Fig. 29 und 30 ist der Glaskörper nebst Linse unter dem Ziliarkörper nochmals in der Ansicht von der Seite und von oben dargestellt. Einzelne Falten greifen tiefer in den Glaskörper ein, als andere.

In der Rinne des Glaskörpers, wo der Ziliarkörper beginnt und die Falten sich verlaufen, findet eine ringförmige, ziemlich gleichförmige und sehr feste Verwachsung statt. Ebenso am Rande der Linse, wo der Ziliarkörper endigt.

Fig. 29.

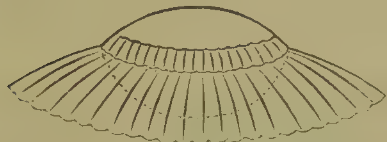


Fig. 30.



In der ersteren Rinne, wo auch die Netzhaut endigt, ist diese Haut mit dem Glaskörper und mit dem Ziliarkörper verwachsen. Das schwarze Pigment des Ziliarkörpers dehnt sich jenseit dieser Rinne noch etwas weiter aus und überzieht daselbst einen Theil der Jacobischen Haut.

Über den vorderen Rand des Ziliarkörpers legt sich der schon vorhin genannte Wulst der Regenbogenhaut. Dieser Wulst zeigt sich als eine ungemein dehnsame und kontraktile Gewebemasse, welche bei der Erweiterung und Verengung der Pupille wesentlich ihre Form und Grösse verändert. Die Regenbogenhaut berührt die Linse nicht unmittelbar, sondern ist durch eine dünne Schicht des Augenwassers davon geschieden.

9. Linse. Die Linse ist in eine Kapsel, die Linsenkapsel (*membrana capsularis* oder *m. lenticularis*) eingeschlossen. Sie bildet eine schleimige Masse von zahllosen übereinander liegenden äusserst feinen Schichten. Die oberen Schichten sind ziemlich weich und zerfliessen nach dem Tode; sie heissen die Morgagnische Feuchtigkeit (*liquor Morgagni*): die inneren Schichten werden härter und faserig. Diese Schichten treten wie die Schalen einer Zwiebel deutlicher hervor, wenn die Linse gekocht wird, wobei sie erhärtet und das Ablösen der einzelnen Schichten gestattet. Die Krümmung dieser Schichten nähert sich nach innen immer mehr der Kugelgestalt (Fig. 31). Jede Schale besteht aus platt liegenden Fasern von sechsseitigem Querschnitte, welche sich nach Fig. 32 nebeneinander lagern. In dieser Figur ist der Querschnitt einiger übereinander liegenden Schalen mit ihren Fasern dargestellt. Man sieht, die sechsseitige Form des Querschnittes der Fasern gestattet nicht, dass die Oberfläche einer Schicht absolut glatt sei.

Fig. 31.



Fig. 32.



Der Verlauf der Fasern in jeder Schicht ist nicht ganz einfach. Ungefähr verfolgen sie den Zug von der Mitte nach der Peripherie. Durch genau radial liegende Fasern würde sich jedoch keine kontraktile Schale bilden lassen; die Fasern müssten ja im Zentrum

jeder Schale unendlich dünn werden. Demgemäss nimmt eine Faser in der vorderen und hinteren Hälfte jeder Schale einen bogenförmigen Zug wie *a b c* in Fig. 33; eine andere Faser verfolgt die Linie *d e f*. Auf diese Weise bilden die Fasern in jeder Schalenhälfte sternförmige Figuren. Die Sternfigur der vorderen Hälfte entspricht nicht immer der Figur der

Fig. 33.

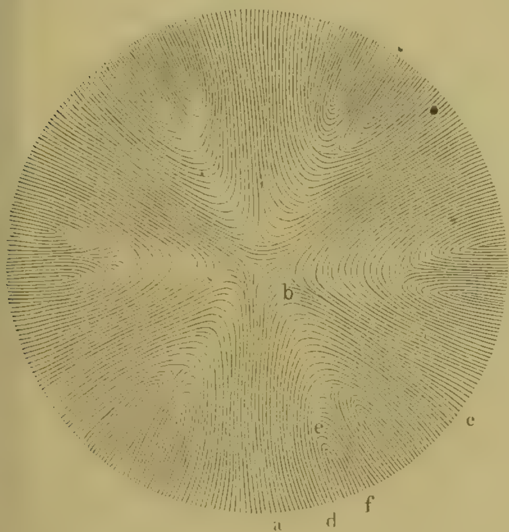
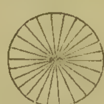


Fig. 34.



Fig. 35.



hinteren Hälfte. In den Kernschichten hat der Stern nur drei Strahlen, welche Winkel von 120° miteinander bilden: die Sterne der hinteren Hälfte sind aber um 60 Grad gegen die Sterne der vorderen Hälfte gedreht. In den äusseren Schichten spalten sich dagegen die drei Hauptstrahlen vielfach in Nebenstrahlen. Unsere Figur, welche aus Helmholtz's Physiologischer Optik entnommen ist, stellt die Figur einer der letzteren Schichten dar.

Aus dieser Textur der Linse erklärt sich denn auch das Verhalten der Linse unter verschiedenen Umständen. Beim Ablösen einer Schale von der gekochten Linse spaltet die Schale nach Fig. 34 und 35 in meridionale Elemente und die rohe, von ihrer Kapsel befreite Linse zeigt bei sanftem Drucke die Neigung, in radialen Richtungen zu spalten. Es zeichnen sich hierbei drei Haupt-Spaltungsrichtungen aus, welche drei gleiche Sektoren einschliessen, und von welchen an der Vorderfläche der Linse die eine Richtung vertikal nach unten geht (Fig. 36). An der Hinterfläche nehmen diese Spalten oder Furchen häufig die diametral entgegengesetzte

Fig. 36.



Fig. 37.



Fig. 38.



Fig. 39.



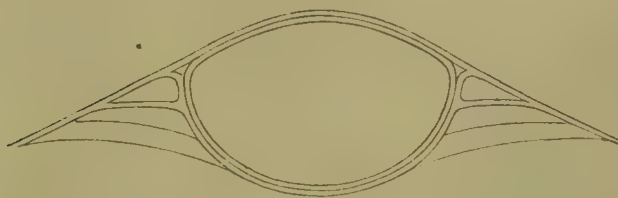
Richtung an, sodass sich dort eine vertikal nach oben gerichtete Spalte zeigt (Fig. 37). Bei stärkerem Drucke theilt sich die Masse der Linse nach Fig. 38 und 39 oder ähnlichen sternförmigen Figuren.

10. Glaskörper. Die Linse liegt auf dem Glaskörper in einer tellerförmigen Grube (*fovea lenticularis*). Sie ist mit diesem Glaskörper durch eine Haut, die Hyaloidea oder Glashaut (*membrana hyaloidea*) verbunden, welche den ganzen Glaskörper einhüllt und sich sowohl oberhalb, als auch unterhalb um die Linse zieht. Oberhalb ist diese Haut so fest auf die Linsenkapsel gewachsen, dass man sie mit dieser Kapsel für gleichbedeutend zu

halten geneigt ist. Unterhalb trennt sie sich leichter von der Linsenkapsel ab, und es scheint sogar, dass sie hier aus mehreren Lamellen besteht, welche eine Art von Bett für die Linse auf dem Glaskörper bilden.

Am Rande der Linse bildet die Glashaut einen um die Linse herum laufenden Kanal, den Petitschen Kanal (*canalis Petiti*), indem sie an dem oberen und unteren Rande eines ringförmigen Streifens, des Zinnschen Gürtels (*zonula Zinnii*) an die Linse gewachsen ist. Diese Verwachsungen haben die aus Fig. 40 deutlicher erkennbare Form; sie greifen sowohl am oberen, wie am unteren Rande jenes Streifens die Linse sowohl in der Richtung nach oben, wie nach unten an. Namentlich bilden sich am unteren Rande ausgedehnte Querhäute (in der Richtung der Meridionalebenen), welche bald mehr, bald weniger weit unter die Linse greifen.

Fig. 40.



Dem Ziliarkörper gegenüber erscheint die Glashaut etwas verdickt. Diese Verdickung beginnt vorn bereits auf dem Rande der Linse und zieht sich über den Petitschen Kanal auf dem Glaskörper hin bis zu der Stelle, wo die Netzhaut endigt.

Der Glaskörper wird durch zahlreiche Häute in seinem Innern durchsetzt. Diese Häute sind mit der Glashaut und unter sich verwachsen. Sie verwandeln den Glaskörper in einen zellenförmigen Körper und verleihen seiner ganzen Masse einen inneren Zusammenhang. Namentlich vervielfältigen sich diese zellenförmigen Häute in der Nähe der Linse, wo eine innige Verbindung zwischen allen Punkten der Glashaut, allen Punkten der Linsenkapsel und allen Punkten des Innern des Glaskörpers stattfindet. Die Form dieser Zellen ist schwer zu erkennen; ihr Studium aber ist für die Gesetze des Auges wichtig: die in Fig. 40 dargestellten Verbindungshäute zwischen der Umhüllungshaut des Glaskörpers und der Linsenkapsel sind zugleich Seitenwände der eben erwähnten Zellen des Glaskörpers.

11. Adern und Nerven. Aus der Axe des Sehnerven dringt eine Arterie und eine Vene (*arteria et vena centralis*) und ein Nerv hervor. Die Adern verästeln sich: namentlich verbreiten sich viele Zweige derselben auf der vorderen Fläche der Netzhaut, umziehen jedoch einen in der Augenaxe liegenden kleinen Bezirk (den Bezirk des deutlichen Sehens), ein Zweig steigt vor der Netzhaut bis zur Linse herauf und umzieht den hinteren Rand derselben; andere Äste treten in den Glaskörper ein. Der Nerv, welcher in den Glaskörper eindringt, wird ebenfalls verschiedene Zweige aussenden; der Hauptstrang desselben dringt bis an die Linse vor und erreicht die Haut der tellerförmigen Grube, woselbst er in mehreren Punkten angeheftet zu sein scheint. Dieser Nerv wird vornehmlich motorische Funktionen zu verrichten haben.

Andere Adern, welche die Aderhaut versorgen, dringen neben dem

Sehnerven und an anderen Stellen durch die harte Haut. Dass an solchen Stellen auch Nerven durch die harte Haut in die Aderhaut und in die Regenbogenhaut treten, ist schon in No. 6 erwähnt.

Es muss hervorgehoben werden, dass von diesen Nerven, welche ausserhalb des Sehnerven in das Auge dringen, alle Gebilde des Auges erreicht werden, und dass ein Theil derselben auch in den Glaskörper hinein tritt.

12. Netzhaut und Sehnerv. Die Netzhaut liegt ziemlich lose auf der Jacobischen Haut; an dem Glaskörper haftet sie fester, namentlich an dessen vorderem Theile, in der Nähe des Ziliarkörpers. Hier endigt die Netzhaut mit einem gezackten Rande (*ora serrata*).

Der Sehnerv hat die aus Fig. 23 ersichtliche Form und Beschaffenheit. Ausser der in seiner Mitte liegenden Ader besteht er aus primitiven Nervenfäden von undurchsichtiger Masse. Derselbe verengt sich an seinem oberen Ende und bildet eine Art von Trichter. Oberhalb dieser trichterförmigen Stelle färbt sich die Masse schwärzlich, wird härter und bildet die sogenannte Siebplatte; sie erweckt die Meinung, dass hier Bestandtheile der Aderhaut, der harten Haut und der Netzhaut sich vermischen, um gemeinschaftliche Funktionen zu verrichten und dass von hier aus Nerven der verschiedensten Art, d. h. sensuelle, motorische, sensibele und Ernährungsnerven, sowie auch Adern austreten, um die verschiedenen Theile des Auges zu bedienen. Deutlich entsenden die Wurzeln des Sehnerven feine Nervenfäden durch die fragliche Trichtermasse in das Auge und diese Fäden, welche durchsichtig oder doch sehr durchscheinend sind, breiten sich als Netzhaut aus oder entwickeln sich zur Netzhaut.

Die harte Haut verliert beim Herantreten an den Sehnerven ihre Härte. Die wirklich harte Masse tritt nicht bis zur Berührung an den Sehnerven heran. In einigem Abstand ist dieselbe vielmehr ziemlich scharf abgegrenzt. Der Zwischenraum bis zum Sehnerven bildet eine zwar sehr zähe und kohäsionskräftige, aber ganz weiche Masse, ähnlich einer leicht verschieblichen Masse unzerreissbarer Sehnen. Diese Masse legt sich äusserlich um den Sehnerven, ist in einiger Entfernung vom Auge dünn, nimmt nahe am Auge an Masse zu, legt sich zwischen den Nerven und die harte Haut, überzieht auch die harte Haut an der äusseren Seite selbst, und scheint *dura mater* oder harte Haut selbst in veränderter Gestalt zu sein. Durch diese schmiegsamere Masse dringen die meisten der in No. 11 erwähnten Adern und Nerven neben dem Sehnerven in das Auge.

13. Nähere Zusammensetzung der Netzhaut. Schliesslich ist über die Netzhaut und ihre Verbindung mit dem Sehnerven noch folgendes Wesentliche zu bemerken.

Die Netzhaut besteht aus mehreren Schichten, welche sich durch ihre Struktur voneinander unterscheiden. Die äusserste, unmittelbar auf der Aderhaut liegende Schicht der Netzhaut, die Stäbchenschicht (*stratum bacillosum*), besteht aus zahllosen stabförmigen durchsichtigen Körpern (*bacilli*), welche normal auf der Kugelfläche der Aderhaut stehen und an derselben haften, indem jedes Stäbchen auf einer Pig-

mentzelle aufsitzt. Die Stäbchen sind ziemlich hart und elastisch, sodass sie, getrennt vom Organismus, leicht zerbrechen oder sich ringförmig zusammenrollen. In regelmässigen Abständen stehen in der Stäbchenschicht dickere Stäbchen, welche Zapfen (*coni*) heissen und sich in einem Zustande ziemlich starker Kompression zu befinden scheinen, da sie, getrennt vom Organismus, sich erheblich birnenförmig verdicken (vergl. Ruete, Ophthalmologie).

Auf die Stäbchenschicht folgt nach vorn oder innen eine Schicht feiner eckiger Körner, die Körnerschicht (*stratum granulosum*), und auf diese eine Schicht kugelförmiger, öltropfenartiger Zellen von grösserem Durchmesser als die Körner, die Kugelschicht (*stratum globulosum*).

Ich schreibe diesen drei Schichten eine grosse Bedeutung für die physiologische Wirkung des Lichtes zu, und werde ihren Inbegriff bei den späteren Untersuchungen kurz mit dem Namen der Zellenhaut bezeichnen.

Auf die Vorder- oder Innenseite dieser Zellenhaut, also unmittelbar auf die Kugelschicht legt sich die eigentliche Nervenschicht oder Nervenhaut (*tunica nervea*). Dieselbe besteht aus den Nervenfäden, in welche sich der Sehnerv von seiner Eintrittsstelle her verbreitet. Diese Nervenfäden lassen den in der Augenaxe liegenden Bezirk des deutlichen Sehens (die *macula lutea*) frei, indem sie denselben umziehen. Gegen die Kugelschicht krümmen sich die Nervenfäden um und scheinen dort in Spitzen oder Schlingen zu endigen.

Aus jedem Stabe der unteren Stäbchenschicht tritt am oberen (nach innen gerichteten) Ende ein feiner Nervenfaden, erfasst ein einzelnes Korn der zunächst darüber liegenden Körnerschicht und dringt alsdann bis in die oberste Lage vor. Wie dieser Faden sich mit den Kugeln der Kugelschicht in Verbindung setzt, geht aus den dessfalsigen Beschreibungen nicht hervor. Auch vermisst man Beobachtungen über die Verbindung dieses Fadens mit der eigentlichen Nervenschicht: es scheint jedoch, dass die Primitivfasern dieser Schicht oder des Sehnerven nicht die unmittelbaren Fortsetzungen der aus den Stäbchen hervortretenden Fäden seien, dass vielmehr beide Arten von Fäden auf der Grenze der Kugel- und der Nervenschicht in korrespondirenden Spitzen endigen. Nach den Figuren in der Physiologischen Optik von Helmholtz wird übrigens eine unmittelbare Verbindung jedes Stäbchens mit einer Nervenfaser durch Vermittlung eines Körnchens und eines Kügelchens angenommen.

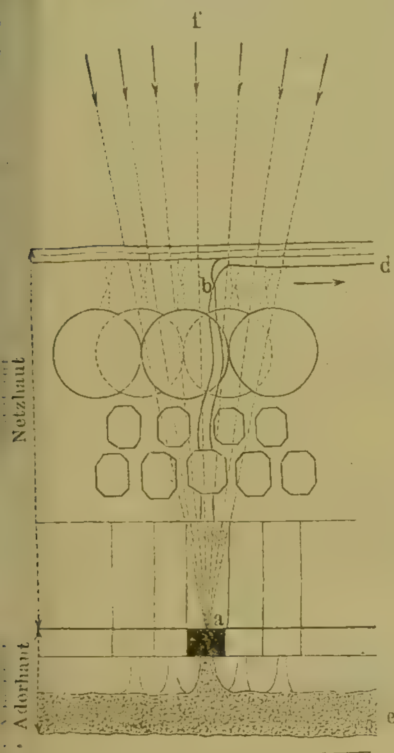
Fig. 41.



Die Körner der Körnerschicht sollen Gehirnzellen sein. Überhaupt aber charakterisiren sich alle Theile der drei Schichten der Zellenhaut als Zubehörungen der Netzhaut, d. h. als Körper, welche den Nervengebilden angehören, sodass man im allgemeineren Sinne das Stäbchen als das Anfangsglied der Kette von Prozessen ansehen kann, welche die Nerventhätigkeit beim Sehen ausmacht.

Fig. 41 und 42 erläutern die vorstehenden Verhältnisse näher. Die letztere Figur stellt nicht in der Form der Wirklichkeit, sondern nur symbolisch ein Stäbchen mit seinen Verbindungen nach oben und nach unten dar. Das hierin zu erkennende Grundprinzip besteht meines Erachtens in Folgendem.

Fig. 42.



14. Aufnahme der Lichtschwingungen. Auf der Oberfläche und der *Jacobischen* Haut konzentrirt sich das von einem Punkte des äusseren Objektes ausgehende konische Strahlenbündel, dessen Basis die Pupille ist, und wird reflektirt, zum Theil auch diffundirt. Das auf dem Punkte *a* normal stehende Stäbchen wird also durch die Lichtvibrationen der Resultante dieses Strahlenbündels in *axialer* Richtung erschüttert. Diese Erschütterung ist sogar eine *zweimalige*, zum ersten Male erfolgt sie durch das *einfallende* Bündel in der Richtung der Pfeile, das zweite Mal durch das *austretende oder reflektirte* Bündel in direkt entgegengesetzter Richtung. Hierdurch wird die Affektion des Stäbchens nicht bloss bedeutend erhöht (ähnlich wie es bei der Glasplatte eines erleuchteten *Spiegels* im Vergleich zu einer *einfachen* Glasplatte, welche nur in *einer* Richtung vom Lichte durchdrungen wird, der Fall ist), sondern es ist damit zugleich das Mittel einer feinen Akkommodation gegeben, wie wir weiter unten in §. 4 näher zeigen werden.

Das Stäbchen ist zugleich das Anfangsglied einer Leitung *ab*, in welcher der von den Lichtvibrationen ausgehende Impuls unter der Herrschaft organischer Gesetze dergestalt *umgewandelt* wird, dass er fähig ist, bei *b* die Spitze eines Nervenfadens in einer der Sehnerventhätigkeit entsprechenden Weise zu affiziren und den Eindruck auf dem Wege *bd* nach dem Gehirne fortzupflanzen.

Die Aderhaut erscheint hiernach zunächst desshalb von Bedeutung, weil sie vermöge ihrer reflektirenden (und diffundirenden) Oberfläche die Wirkung der Lichtschwingungen auf die Nervenleitung *verstärkt*. Reflexion und Diffusion setzt aber immer *Mitthätigkeit* voraus, wie die Resonanz ein Mitarbeiten des resonirenden Körpers erfordert. Es ist nun sehr wohl möglich, dass eine zweite wesentliche Wirkung der Aderhaut eben darin liegt, dass sie die Rolle eines Resonanzbodens oder des Bodens einer tönenden Röhre spielt, also zu der Stetigkeit, Gleichförmigkeit und Stabilität der von den Lichtvibrationen erzeugten Thätigkeit beiträgt. Jedenfalls aber muss man annehmen, dass die Affektion der Aderhaut, welche sich in der Reflexion und Diffusion bethätigt, ein Reiz ist, auf welchen dieses Organ in einer planmässigen Weise, wozu auch die Regu-

lirung des Blutzuflusses gehört, reagirt, um die Vollkommenheit de Gesichtseindruckes herbeizuführen.

Zu grösserer Deutlichkeit und Bestimmtheit bemerke ich jedoch, das zwar bei normalem Vorgange die Axe fa des Strahlenkegels normal au der Netzhaut steht, also mit der Richtung der Axe des Stäbchens zu sammenfällt, dass jedoch unter abnormen Verhältnissen diese beiden Axe auch divergiren können, wie Fig. 43 darstellt. Alsdann, als allgemein kömmt für die Richtung, in welcher wir de Lichteindruck empfinden, immer nur die Resultante alle Strahlen des Lichtkegels parallel zur Axe des Stäb chens oder normal zur Netzhaut in Betracht Ein experimenteller Beweis zu dieser Behauptung wird sich weiter unten ergeben. Übrigens lehren schon die Resultat des gewöhnlichen Sehens, dass es nicht anders sein kann Denn hätten auch die Seitenkomponenten einen Einfluss, em pfänden wir also jeden elementaren Lichtstrahl nicht in de Axenrichtung des Stäbchens, sondern in seiner eigenen Richtung so könnte der Totaleindruck aller Elemente eines Strahlenbündels, des sen Basis die Pupille oder das ganze Gesichtsfeld ist, welches aber vo einem einzigen Punkte der Aussenwelt ausgeht, durchaus nicht den Ein druck eines einfachen oder linearen Strahles machen, unter welchen wir uns einen Punkt vorstellen könnten, dasselbe müsste vielmehr noth wendig den Eindruck eines divergirenden Strahlenbündel machen, dessen Objekt uns als eine grosse Kreisfläche erschiene, welch vielleicht in der Mitte heller als am Umfange wäre, aber ein deutliche Sehen unmöglich machte.

Fig. 43.



Endlich weis't die stabförmige Figur und die seitliche Isoli rung der das Licht zuerst empfangenden Elemente darauf hin, dass de Plan der Natur darauf abzielt, Organe zu stiften, welche nur in eine einzigen Richtung, nämlich in ihrer Axenrichtung zur Aufnahme un Fortpflanzung von Ätherschwingungen fähig sein sollen.

Dass Seitenkomponenten eines Lichtstrahles, sowie Strahlen welche normal auf eine Nervenfaser treffen, keinen bestimmten Licht eindruck erwecken, geht auch daraus hervor, dass die Nervenfasern de Netzhaut, welche sich von den Stäbchen aus an der inneren Augenwand nach dem Austrittspunkte des Sehnerven ziehen und von allen Lichtstrah len normal getroffen werden, auf diese Strahlen nicht reagiren.

Wenngleich die Seitenkomponenten die Richtung, in welcher ein Lichteindruck empfunden wird, nicht beeinflussen; so folgt daraus doch nicht, dass sie in jeder Hinsicht unwirksam seien. In §. 14 werden wir vielmehr sehen, dass diese Seitenkomponenten eine andere besondere Rolle spielen.

Auf der entgegengesetzten Seite von a schliesst sich an die Spitze des Nervenstäbchens der Netzhaut der kapillare Ausläufer oder die Aus schwitzungsstelle einer Arterie der Aderhaut (resp. der Ruyschianischen Haut) an, welche das Blut von e her in der Richtung des Pfeiles zuführt. Auf diese Weise ist an derselben Stelle, wo der Lichtäther seine Wirkung auf das Sehorgan ausübt, auch zugleich die direkte Berührung zwi-

chen Nerven und Blut gestiftet, deren gegenseitige Reaktion alles nimalische Leben bedingt.

15. **Unempfindlicher Fleck.** In der Axe des Sehnerven, wo dern und motorische oder Ernährungsnerven durch die Netzhaut treten, önnen Stäbchen nicht vorhanden sein; auch können sich in einem gewissen Bezirke um diese Axe herum gegen den Rand des Sehnerven hin eine Stäbchen befinden, weil dieselben nothwendig hier durch die in die ichtung des Sehnerven übergehenden Nervenfäden verdrängt werden. n dieser Stelle muss also die Netzhaut in dem Bezirke eines nicht ganz nbedeutenden Kreises für das Licht unempfänglich sein. Man nennt die telle den unempfindlichen oder blinden Fleck, *macula cocca.* iess bestätigt sich durch folgendes Experiment: man mache auf einem artenblatte einen runden schwarzen Fleck von beliebiger Grösse, enn man will zollgross, schliesse ein Auge und blicke mit dem anderen unverwandt nach irgend einem festen Gegenstande; so wird man as Kartenblatt leicht so vor das Auge halten können, dass man jenen leck nicht sieht, während derselbe doch sofort erscheint, wenn man das latt ein wenig nach irgend einer Seite bewegt. Man kann auch das latt in angemessener Entfernung still halten und, wenn das linke uge geschlossen ist, das rechte Auge von dem Flecke *a* (Fig. 44) langsam in der Richtung nach links, also nach *b* gleiten lassen: hierbei wird man bald dahin kommen, dass der Fleck verschwindet, dass derselbe aber wieder auftaucht, wenn man mit dem Auge weiter geht.

Fig. 44.



Statt des dunkelen Fleckes kann an auch ein ebenso grosses Loch in das Blatt schneiden und dasselbe gen den hellen Himmel oder Abends gegen ein Licht halten. Der helle leck verschwindet unter denselben Umständen, nämlich wenn sein Bild uf die Zentralstelle des Sehnerven fällt, wie der dunkele Fleck.

Je grösser die Entfernung ist, in welcher man den Fleck anbringt, esto grösser kann er sein. In einer Entfernung von 36 Zoll verschwinet in meinem Auge ein Fleck von 2 Zoll Durchmesser, wenn dessen ittelpunkt etwa 10 Zoll seitwärts nach aussen von der optischen Axe s Auges steht. Hiernach muss die unempfindliche Stelle der Netzhaut nen Durchmesser von nahezu $^4/_5$ Millimeter haben, welcher nicht viel einer ist, als der Durchmesser des am Pole der optischen Axe liegenden ezirks des deutlichen Sehens.

In welchem Grade die Netzhaut an dieser Stelle unempfindlich ist, sst sich danach ermessen, dass selbst die Sonne, solange sie von der ittagshöhe noch einigermassen entfernt oder durch atmosphärischen unst etwas gedämpft ist, verschwindet, wenn man mit einem Auge unter m Winkel von etwa 14 Grad einwärts daneben vorbei blickt. Die llste Mittagssonne affizirt alle Organe des Auges so stark, regt auch hl die Nerven, welche sich über die unempfindliche Stelle ziehen, derstalt auf, dass wenn auch kein Sonnenbild zu Stande kömmt, doch der chtreiz an jener Stelle Wirkungen auf den Sehnerven hervorbringt, elche einem Lichtphantome zu vergleichen sind.

Die Unempfindlichkeit der Stelle der Netzhaut, wo die Stäbchen feh-len, kann als eine wichtige Bestätigung von der Bedeutsamkeit angeseh-werden, welche die Stäbchen (natürlich mit den zugehörigen Element der übrigen Schichten) für das Sehen besitzen.

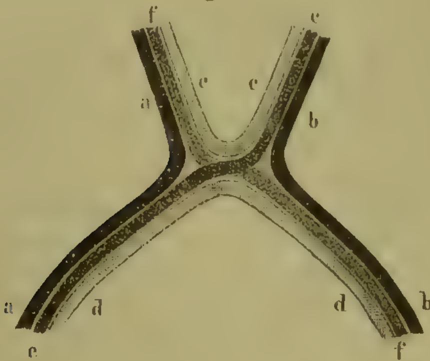
16. Gelber Fleck. Den Bezirk des deutlichen Sehens od den gelben Fleck (*macula lutea*), sollen die Fasern der oberst Schicht der Netzhaut nicht überziehen: sie können denselben also a ihrem Wege von den verschiedenen Punkten der Netzhaut nach der A satzstelle des Sehnerven nur umziehen. Hierdurch wird unzweifelha die direkte Wirkung der Lichtstrahlen auf die unten liegenden Stäbche in jenem Bezirke erhöht, und man muss auch hierin eine Bestätigung d den Stäbchen zugesprochenen Rolle erblicken.

Der gelbe Fleck ist ausserdem frei von allen solchen Adern, welc als Arterien oder Venen die übrigen Theile der vordersten Lage der Net haut, die eigentliche Nervenschicht durchdringen.

17. Das Chiasma. Die von beiden Augen kommenden Sehnerv durchkreuzen sich auf ihrem Wege nach dem Gehirne an einer Stell welche das Chiasma (*chiasma opticum*) heisst. Die Durchkreuzung i jedoch nur ein Theil des Vorganges, welcher sich im Chiasma verbirg Eine Sonderung der einzelnen Nervenfäden lehrt nach Ruete Folgend

Ein Theil dieser Fäden *c c* und *f f* (Fig. 45) durchkreuzt sich i Chiasma allerdings in der Weise, dass die Fäden vom linken Auge na der rechten Hemisphäre des G hirns und die vom rechten Au nach der linken Hemisphäre gehe

Fig. 45.



Ein anderer Theil *a a* und *b* der Nervenfäden durchkreuzt si jedoch nicht, sondern geht dur das Chiasma vom linken Auge z linken und vom rechten zur recht Hemisphäre.

Ein dritter Theil *c c* von Fäd geht gar nicht zum Gehirne, sonde verbindet beide Augen durch d Chiasma miteinander.

Ein vierter Theil *d d* endlich stellt keine Kommunikation zwisch Augen und Gehirn, sondern zwischen den beiden Gehirnhälften her.

Möglicher-, ja wahrscheinlicherweise dienen die letzten beiden The von Nervenfäden nur dazu, die Funktionen der beiden Augen unter si und die der beiden Gehirnhälften unter sich so abhängig zu machen, da die etwaigen organischen, also subjektiven Verschiedenheiten beider, s wie auch die etwaigen objektiven Verschiedenheiten des Lichtbildes d beiderseitigen Organe zum Frommen eines möglichst gleichmässigen u vollkommenen Gesichtseindruckes sich ausgleichen, sodass also vermö dieser Nerven auch die Akkommodationsthätigkeiten auf beid Seiten sich gleichförmig vollziehen. Es scheint nicht unbedingt nöth

zu sein, dass diese Fäden eigentliche Sehnerven seien; dieselben können auch motorische Funktionen verrichten.

Ob die ersten beiden Nervenarten, welche, von jedem Auge kommend, sowohl nach der rechten, wie nach der linken Gehirnhemisphäre gehen, von einer gemeinschaftlichen Spitze im Auge ausgehen, also Zweige desselben Stammes sind und demzufolge muthmasslich gleiche Funktionen verrichten oder einunddenselben Eindruck nach der linken und nach der rechten Seite des Gehirns übertragen, oder ob Diess nicht der Fall ist, sodass also muthmasslich der Faden *aa* im Dienste des Fadens *ff* eine ganz andere Funktion verrichtet, als dieser, scheint nach den jetzigen Beobachtungen noch nicht entschieden werden zu können.

§. 5.

Dimensionen des Auges.

1. Allgemeines. Die Vielheit der optischen Theile des Auges ist erforderlich, um unter den verschiedenen Umständen, d. h. bei jeder Entfernung, Grösse, Farbe und Lichtstärke des Objektes ein reines und scharfes Bild davon auf der Netzhaut (oder vielmehr auf der Jacobischen Haut) zu entwerfen.

Zur Beseitigung der Farbenzerstreuung oder wegen des Achromatismus wird der Lichtstrahl durch mehrere Medien von verschiedener Brechbarkeit geführt. Zur Verhütung der Aberration, d. h. zur Vereinigung der Randstrahlen mit den Zentralstrahlen, also wegen des Aplanatismus wird der Lichtstrahl an mehreren Flächen von verschiedener Krümmung gebrochen; die Anzahl dieser Flächen ist sogar wegen des Schichtenbaues der Linse ungemein gross. Zur gänzlichen Abhaltung der äussersten Randstrahlen, welche eine nicht zu überwindende Aberration geben würden, ferner zur Abhaltung zu schräg gegen das Auge gerichteter Strahlen, also wegen möglichster Schärfe des Lichtbildes ist der äusserste Rand der Linse in Form der Regenbogenhaut durch eine Blende verdeckt.

2. Brechungsexponenten. Was die Verschiedenartigkeit der brechenden Medien betrifft; so kann dieselbe aus folgenden Werthen des Brechungsexponenten oder Brechungsquotienten für den Übergang in Luft beurtheilt werden.

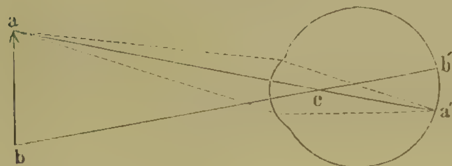
Augenwassar beim Menschen	1,3366	beim Ochsen 1,336	beim Kabeljau 1,34
Linse, oberste Schicht	1,3767	1,43	1,55
Kern	1,3990	1,54	1,59
im Durchschnitt . . .	1,38	1,47	1,55
Glaskörper	1,34	1,357	1,35
Wasser	1,33 bis 1,34		
Gewöhnliches Glas	1,54 „ 1,58		
Kronglas	1,55 „ 1,6		
Flintglas	1,65 „ 1,8		

Der Glaskörper ist also nur wenig mehr brechbar als das Augenwasser und die Brechbarkeit beider ist nur wenig grösser als die des

Wassers, wogegen die Linse, namentlich in den Kernschichten, schon ei erheblich grössere Brechbarkeit besitzt.

3. Reduzirtes Auge. Die fingirte Form eines Auges nach Fig. 4 welches aus einem einzigen gleichartigen Medium von der Brechbark 1,34 des Glaskörpers besteht, un vorn eine Krümmung von 5,1 Mi limeter Radius besitzt, deren Mi telpunkt *c* in dem Abstande vo 15 Millimeter vor der Netzha *a' b'* liegt (während die Hornha des menschlichen Auges 2,3 Mil meter weiter vorliegt und ein Radius von 8 Millimeter hat), heisst das reduzirte Auge. Es bild sich in demselben in Beziehung auf Konvergenz und Konzentration de Lichtstrahlen zu einem Lichtbilde und in Beziehung auf Grösse des Lich bildes und Gesichtswinkel nahezu dieselben Verhältnisse wie in dem wirk lichen Auge, natürlich ohne die für das genaue Sehen in Betracht kom menden Feinheiten. Die Axen aller Strahlenbündel oder alle Linien wi *a a'*, *b b'*, welche die Punkte eines Objektes mit den korrespondirende Punkten des Netzhautbildes verbinden, durchschneiden sich in diesem re ducirten Auge in dem Mittelpunkte *c* der vorderen Krümmung. Diese Punkt wird der Kreuzungs- oder Knotenpunkt genannt. Im wirk lichen Auge liegt der Kreuzungspunkt ganz nahe an der Hinter wand der Linse.

Fig. 46.



Übrigens werden wir in §. 8 ein vereinfachtes Auge kennen lerne welches den Eigenschaften des natürlichen Auges weit näher steht, al das eben bezeichnete.

4. Bezirk des deutlichen Sehens. Wir bemerken noch, dass di Ausdehnung des Lichtbildes, welche dem ganz deutlichen Sehen ent spricht, sehr klein ist und etwa nur 6 Grad umfasst (3 Grad auf jede Seite der Augenaxe), eine Fläche, welche auf der Netzhaut etwa 1 Milli meter Durchmesser hat.

5. Ochsenauge. Die Figuren 47 bis 51 stellen ziemlich genau di

Fig. 47.

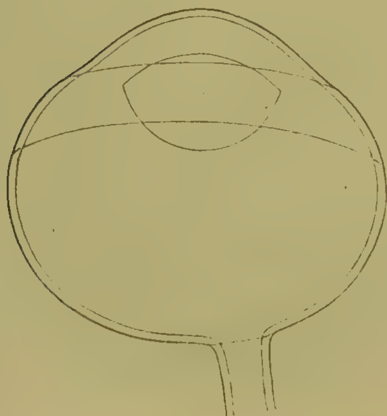


Fig. 48.



on mir aufgenommenen Dimensionen und Krümmungen eines leblosen)chsenauges in natürlicher Grösse dar, wobei zu bemerken ist, dass

Fig. 49.

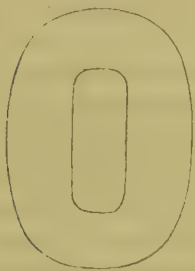


Fig. 50.



Fig. 51.



dieses Auge in vertikaler Richtung grössere Dimensionen hat, als in horizontaler. Die Hornhaut bildet ein Oval (Fig. 49), die Pupille fast in Rechteck, die Linse ist in der vorderen Ansicht kreisrund nach Fig. 50 nd bildet im Querschnitte die Fig. 51.

6. Dimensionen. Von den übrigen Dimensionen des menschichen Auges dürften noch folgende hervorzuheben sein.

Der Durchmesser des Auges in der Richtung der Sehaxe von der lornhaut bis zur Netzhaut beträgt etwa 22,5 Millimeter. Hiervon kommen ,3 Mm. auf den Abstand bis zur Regenbogenhaut, 0,2 bis 0,5 Mm. von dort is zur Linse und 20 Mm. auf den Abstand von der Vorderfläche der Linse is zur Netzhaut. Übrigens wird jene Axenlänge auch bis zu 26 Mm. angegeben, sodass 24 Mm. als ein mittlerer Durchmesser angesehen werden önnen. Der vertikale Durchmesser ist gewöhnlich der kleinste und der orizontale, auf der Axe normal stehende dem axialen nahezu gleich.

Der Durchmesser eines mittleren Auges in der Richtung von der orderfläche der Hornhaut bis zur Hinterfläche der harten Haut soll 4,5 Mm. betragen.

Der Drehungspunkt, um welchen sich der Augapfel bewegt, liegt st genau in der Mitte dieser Axe. Der Kreuzungspunkt der Hauptrahlen der Lichtbündel liegt fast genau in der Hinterfläche der Linse, so einige Millimeter vor dem Kreuzungspunkte oder 14 Mm. von der etzhaut entfernt.

Die Hornhaut hat einen Krümmungshalbmesser bis zu 8 Mm.

Die Linse hat an der Vorderfläche einen Krümmungshalbmesser bis 1 10, im Mittel von 7 bis 8 Mm., an der Hinterfläche bis zu 6, im ittel von 5 bis 5,5 Mm. und eine Dicke in der Richtung der Axe bis zu im Mittel von 5 bis 7 Mm. Der normal auf der Axe stehende Durchesser beträgt etwa 9 Mm. Sie steht 2,5 Mm. weit von der Hornhaut ab.

Die Regenbogenhaut hat einen Durchmesser von 10 Mm., die Hornut einen solchen von 11 Mm.

Die Axe des Glaskörpers ist 14 Mm. lang und ebenso lang ist auch r Krümmungshalbmesser der Netzhaut im Pole.

An dem vorhin erwähnten Ochsenauge habe ich durch Messung lgende Dimensionen gefunden. Durchmesser in der Axe von der Vorderche der Hornhaut bis zur Hinterfläche der harten Haut 40 Mm., normal rauf stehender Durchmesser 46 Mm. Der Axendurchmesser zerfällt in lgende Abschnitte: Abstand der Linse von der Vorderfläche der Horn-

haut 5 Mm., Dicke der Linse 12 Mm., Abstand der Netzhaut von der Lins 21,5 Mm., Dicke der harten Haut 1,5 Mm. Der normal auf der Axe ste hende Durchmesser der Linse 19 Mm. Der Krümmungshalbmesser de Linse an der Vorderfläche 14, an der Hinterfläche 9,5 Mm. Der Sehner hat einen Durchmesser von 5,5 Mm.

Wenn ich diese Dimensionen auf den Axendurchmesser eines menschl lichen Auges von 24 Mm. einschliesslich der harten Haut reduzire; s ergeben sich daraus folgende Zahlen. Durchmesser normal zur Ax 27,5 Mm. Die Abschnitte des Axendurchmessers werden: Abstand vo der Hornhaut bis zur Linse 3 Mm., Dicke der Linse 7 Mm., Abstand de Netzhaut von der Linse 13 Mm., Dicke der harten Haut 1 Mm. Durch messer der Linse, normal zur Axe 11,5 Mm., Krümmungshalbmesser de Linse an der Vorderfläche 8,5 Mm., an der Hinterfläche 5,5 Mm. De äussere Durchmesser des Sehnerven wird 3,3 Mm.

Vorstehende Vergleichung und die schon früher mitgetheilten Br chungsexponenten lehren, dass das Ochsenauge fast genau so kon struirt ist wie das Menschenauge.

Die Öffnung der Pupille am Menschenauge beträgt bei stärkste Kontraktion 1 Mm., bei grösster Erweiterung 6 Mm., im Zustande de Ruhe unter gewöhnlichen Verhältnissen 5 Mm. und unter mittleren Ve hältnissen 2 bis 4 Mm.

Die Mittelpunkte der Pupillen beider Augen liegen bei dem Blick auf 9 Zoll Sehweite 60 bis 70 Mm. oder etwa $2^1/_2$ pariser Zoll ausein ander. Die Mittelpunkte der Augäpfel stehen also 4 Mm. voneinander a

Der Sehnerv tritt 3 bis 4 Mm. seitwärts nach innen von der Sehax des Auges in den Augapfel und bildet einen Winkel von 20 Grad gege die Augenaxe. Die Siebplatte des Sehnerven hat einen Durchmesser vo 2 Mm.

Die Stäbchen der Bazillarschicht der Netzhaut haben eine Länge vo 0,027 bis 0,030 und eine Dicke von etwa 0,0018 Mm.

7. **Betrachtungen.** Erwägt man, dass alle diese Dimensionen m der absoluten Grösse des Individuums oder des Auges variiren und da die einzelnen Angaben von verschiedenen Beobachtern herrühren, welc mit verschiedenen Augen operirt haben; so leuchtet ein, dass dieselbe nur einen sehr beschränkten Werth haben. Jedenfalls sollte jed Beobachter bei der Angabe irgend einer Dimension zugleich eine od mehrere bestimmte Hauptdimensionen des Auges nennen. Es fragt si aber überhaupt, ob es nicht nützlich wäre, neben der Bezeichnung d Dimensionen nach absoluten Maassen, z. B. nach Millimetern, diese Dime sionen als Theile einer gewissen Hauptdimension, z. B. des Auge durchmessers anzugeben.

Die Verhältnisse der Dimensionen untereinander sind in vieler Hi sicht wichtiger, als die absoluten Maassen derselben. So folgt z. B. a den obigen Maassen der Stäbchen der Netzhaut, dass ihre Länge das 1 bis 17-fache der Dicke beträgt. Bei scharfem Sehen beträgt der Absta des Pupillenrandes von der Netzhaut etwa das 10- bis 15-fache des P

pillendurchmessers, und wenn man den Randstrahlen des von einem Punkte kommenden Lichtbündels weniger Werth beilegt, als den Zentralstrahlen; so ist die Höhe des Strahlenkegels von der Linse bis zur Netzhaut vielleicht zu dem 15-fachen des Durchmessers seiner Basis anzunehmen.

Hieraus folgt, dass dieses Strahlenbündel in dem Raume eines Stäbchens der Stäbchenschicht eben Platz findet, sodass jener Raum weder zu eng ist, um von dem Gesammteffekte des Strahlenbündels zu viel zu verlieren, noch zu weit, um die Anzahl der anzubringenden Stäbchen und damit die Vollkommenheit des Lichtbildes zu sehr zu beschränken.

Wir bemerken noch, dass bei der Dicke von 0,0018 Millimeter jedes Stäbchens in der Länge eines Millimeters 555 Stäbchen und auf der Fläche eines Quadratmillimeters, welche etwa den Bezirk des deutlichen Sehens auf der Netzhaut umfasst, deren 300 000 liegen. In der Entfernung von 8 Zoll oder 200 Millimeter würde ein Objekt von 1 Quadratzoll oder 625 Quadratmillimeter, dessen Netzhautbild etwa 4 Quadratmillimeter umfasst, $1^1/_4$ Million Stäbchen in Anspruch nehmen.

§. 6.

Der innere Mechanismus des Auges.

1. Beweglichkeit und Veränderlichkeit der einzelnen Organe. Die einzelnen Theile des Auges sind in mannichfacher Weise beweglich und veränderlich.

Zunächst ist der ganze Augapfel vermöge eines äusserlich angebrachten Muskelapparates nach allen Richtungen drehbar. Die Bedingungen dieser Drehbarkeit werden wir in §. 13 näher untersuchen.

Die Linse kann nach sicheren Beobachtungen ihre Konvexität oder Wölbung vermehren und vermindern. Da sie aus unzähligen Schalen von verschiedener Dichtigkeit und verschiedener Form besteht (die Zentralschichten nähern sich immer mehr der Kugelgestalt); so kann man sich eine Änderung ihrer Form schon gar nicht ohne gleichzeitige Änderung ihrer Dichtigkeit denken: da aber die Dichtigkeit an sich eine so wichtige optische Eigenschaft für das Auge ist, und alle übrigen wesentlichen Eigenschaften und Dimensionen des Auges veränderlich sind; so muss man die Veränderlichkeit der Dichtigkeit der Linse als einen Akt betrachten, welchen das Auge selbstständig oder unabhängig auszuführen fähig ist.

Mit der Veränderung der Konvexität oder des Krümmungshalbmessers, sowie mit der Veränderung der Dichtigkeit ist ohne Frage auch eine Veränderung der Gestalt der äusseren Flächen und der inneren Schalen der Linse verbunden, welche daraus entspringt, dass die einzelnen Elemente dieses Körpers ihre Krümmung nicht gleichmässig ändern.

Ausserdem lehren Beobachtungen, dass die Linse ihren absoluten Ort gegen die Netzhaut ändern kann.

Ich nehme ferner trotz entgegenstehender Ansichten an, dass der ganze Augapfel Formveränderungen fähig ist und dass eine Verlängerung des Augapfels in der Richtung der Augenaxe, entsprechend einem

Vorrücken der Linse, theilweise durch axial wirkende Zugkräfte theilweise aber auch durch Kontraktionen erzeugt wird, welche ringförmig in den auf der Axe normal stehenden Ebenen erfolgt, während umgekehrt eine Verkürzung des Augapfels, entsprechend einem Zurückrücken der Linse, theilweise durch axiale Kräfte, theilweise durch ringförmige Ausdehnung oder Wiederaufhebung jener Kontraktionen in den Normalebenen entsteht (vergl. §. 8 No. 24).

Für die Kontraktion der harten Haut dürfte die Art und Weise nicht unwichtig sein, wie der Sehnerv sie durchdringt. Die harte Haut besitzt an dieser Durchdringungsstelle nicht bloss ein dem Kaliber des Sehnerven entsprechendes Loch, sondern ihre sonst harte Masse geht nach der Beschreibung des vorigen Paragraphen nahe an diesem Nerven in eine weiche, pressbare, schwammige Masse über, welche die Kontraktion der eigentlichen harten Haut gestattet, ohne den Sehnerven und die neben demselben eintretenden Blutgefässe zu drücken. Der Sehnerv selbst hat an seinem obersten Ende eine trichterförmige Gestalt, welche die Verengung jenes Loches ohne Beeinträchtigung der Nervenfasern noch mehr zu erleichtern scheint.

Durch ähnliche axiale und ringförmige Affektionen wird auch die Wölbung der Linse verändert und zwar beruht die stärkere Wölbung auf einer axialen Ausdehnung und ringförmigen Zusammenziehung, die schwächere Wölbung dagegen auf einer axialen Zusammenziehung und ringförmigen Ausdehnung. Die Oberflächen der Linse sind nicht genau kugelförmig, sondern paraboloidenartig, gegen die Ränder hin flacher gekrümmt, als in der Mitte. Wenn die Krümmung in der Mitte oder die Gesammtwölbung der Linse abnimmt, nähert sich die Form der Linse mehr der Kugelgestalt.

Die Veränderungen des Linsenkörpers werden höchst wahrscheinlich durch das Vorhandensein des leeren Petitschen Kanals erleichtert. Ganz besonders ist aber der Faltenwurf rings um den Rand der Linse und den oberen Theil des Glaskörpers und die rippenförmige Verwachsung dieser Organe mit dem Ziliarkörper, besonders an einem oberen und unteren Rande sehr dazu angethan, Verengungen und Erweiterungen der Querschnitte aller dieser Organe und sonstige Änderungen von Dimensionen, Dichtigkeiten und Spannungen zur Ausführung zu bringen.

Indem sich der Augapfel normal zur Axe kontrahirt oder in der Richtung der Axe ausdehnt, zieht sich der Linsenkörper zusammen; die Wölbungen an der Vorder- und Hinterfläche werden stärker; die Ränder ziehen sich zusammen, sodass jene Flächen in der Nähe der Axe sich mehr der Kugelgestalt nähern; die Dicke der Linse vermindert sich nur wenig; die Dichtigkeit der Linse nimmt zu. Diese Wirkung auf die Linse ist das nothwendige Resultat theils der ringförmigen Kontraktion, theils der axialen Ausdehnung des Augapfels. Während die ringförmige Kontraktion die Linse in allen radialen Richtungen komprimirt, wirken die Spannkräfte, welche den Augapfel axial zu verlängern streben, vermöge der Häute, welche die Hinterfläche der Linse mit dem Augapfel verbinden, direkt auf diese Hinterfläche, sodass in der Linse auch Kompression in axialer Richtung entstehen muss.

Was dagegen den Glaskörper betrifft; so wird derselbe durch ring

förmige Kontraktion und axiale Ausdehnung des Auges nicht verdichtet, sondern verdünnt oder es vermindert sich die darin enthaltene Spannung. Denn jeder durch die Axe des Auges gehende Querschnitt bildet, wenn man die warzenförmig aufgesetzte Hornhaut ausser Acht lässt, eine Ellipse, deren kleine Axe in der Augenaxe liegt. Durch Verlängerung der Augenaxe und durch Verkürzung der normal darauf stehenden Durchmesser des Auges nähert sich also die Gestalt des Glaskörpers mehr der Kugelform; sein Volum wird also nicht verkleinert, sondern vergrössert; seine Spannung und Dichtigkeit kann also nicht zu-, sondern nur abnehmen.

Während sich also die Dichtigkeit der Linse vermehrt, vermindert sich die des Glaskörpers. Wir werden in §. 8 sehen, dass auch diese Beziehung für die Optik des Auges von Bedeutung ist, und in jenem Paragraphen (No. 20 und 23) werden wir überhaupt die Veränderungen der brechenden Medien genauer präzisiren.

Die Pupille kann sich verengen und erweitern. Die Verengung erscheint als ein Akt ringförmiger Kontraktion, die Erweiterung dagegen als der umgekehrte Akt verminderter ringförmiger Spannung.

Die Kontraktion oder Verengung der Pupille ist von einer Zusammenziehung der Augenlider begleitet. Die Stellung der Augenlider wird übrigens auch von den übrigen Thätigkeiten des Auges affizirt.

Auf das Prinzip, welches diesen Veränderungen der einzelnen Theile des Auges zu Grunde liegt, kommen wir in §. 8 zurück, insbesondere werden wir daselbst in No. 24 den Werth der verschiedenen Beobachtungen in dieser Hinsicht untersuchen.

2. Selbstständigkeit und Abhängigkeit der verschiedenen Veränderungen. Wenn wir die verschiedenen Veränderungen des Auges auf ringförmige Kontraktionen und axiale Ausdehnungen zurückführen; so ist damit nicht gesagt, dass in allen Fällen stets dieselbe Grundbewegung stattfinde und alsdann alle vorhin genannten Bewegungen der einzelnen Organe in einem bestimmten Maasse zur Folge habe. Wir sind vielmehr der Ansicht, dass sich jedes der Hauptorgane, also die Linse, der Glaskörper, die harte Haut nebst der Hornhaut, die Aderhaut, die Regenbogenhaut und die Netzhaut für sich bis zu einem gewissen Grade selbstständig in obiger Weise kontrahiren und ausdehnen könne, dass aber mit der Spannung irgend eines dieser Organe die Tendenz zur Spannung aller übrigen verbunden sei und dass dieser Tendenz im Allgemeinen so weit Genüge geschehe, wie das Bedürfniss des deutlichen Sehens es erfordert, dass jedoch in speziellen Fällen diese Tendenz nicht in dem Maasse zur Erfüllung gelange, wogegen in anderen Fällen durch die Erfüllung dieser Tendenz das Bedürfniss des deutlichen Sehens überschritten werde.

Im Wesentlichen halten wir also die vorstehenden Veränderungen für selbstständige Thätigkeiten der einzelnen Organe, nehmen jedoch an, dass sich dieselben gegenseitig beeinflussen, dass also die eine induktorisch auf die andere wirkt, ein Vorgang, welcher in allen übrigen Prozessen des Nervensystems in Beziehung auf die verschiedenartigen Nervenstämme, welche einen Körpertheil bedienen, seine Analogie findet.

3. Impuls zu den Veränderungen. Wir nehmen an, dass der Impuls zu jenen verschiedenen Veränderungen im Allgemeinen und prinzipiell von der Netzhaut, welche mit dem Sehnerven gewissermassen identisch ist, ausgeht und durch die besondere Art und Weise, wie dieses Organ vom Lichtbilde affizirt wird, bedingt ist. Da die Netzhaut die ganze innere Augenhöhle bis an den Ziliarkörper bekleidet und durch Verwachsung mit dem Glaskörper, der Linse, der Regenbogenhaut und der Aderhaut in naher und allseitiger Verbindung steht, da ferner alle Fasern der Netzhaut im Sehnerven zusammenlaufen und alle motorischen Nerven des Auges sich in einem früheren oder späteren Punkte mit dem Sehnerven vereinigen; so besitzt sie augenscheinlich die äussere Fähigkeit dazu, d. h. sie befindet sich in der Lage, in Folge eines in irgend einem ihrer Punkte entstehenden Lichtreizes auf alle Punkte der übrigen Organe hin zu wirken.

Diese Thätigkeit des Sehnerven, welche die Form und Beschaffenheit der optischen Apparate des Auges beeinflusst, schliesst zwar nicht aus, dass die Lichtvibrationen, indem sie die Substanz der brechenden Medien erschüttern, auch noch gewisse unmittelbare Wirkungen auf diese Medien ausüben; allein diese Wirkungen können doch nur als sekundäre angesehen werden: der Sehnerv oder die Netzhaut beherrscht das ganze Auge nach einem einheitlichen Prinzipe.

4. Unsymmetrische Veränderungen. Im Vorstehenden haben wir nur gleichmässige Kontraktionen, also in Beziehung zur Augenaxe ringsherum symmetrische Veränderungen vorausgesetzt. Es scheint mir aber ausser allem Zweifel zu liegen, dass jedes einzelne Organ des Auges auch fähig ist, sich unsymmetrisch zu verändern.

Insbesondere nehme ich an, dass der Augapfel oder die harte Haut in seinen einzelnen Theilen sich mehr oder weniger kontrahiren, vor- und zurückziehen kann, sodass sich seine Form mehr oder weniger von der regelmässigen Figur eines Rotationskörpers entfernt, ferner dass sich die Aderhaut und die Netzhaut an den einzelnen Stellen mehr oder weniger stark spannen und von der unterliegenden harten Haut abziehen lässt.

Die vielen einzelnen Fäden und Nerven, welche die Aderhaut mit der harten Haut verbinden und welche auch unter der Netzhaut fortlaufen, ferner die Einrichtung, dass viele jener Fäden an zwei Punkten der harten Haut befestigt sind, sonst aber lose auf derselben liegen, in diesem Zwischenraume aber mit der Aderhaut verbunden sind, sowie die Einrichtung, dass die Aderhaut stellenweise fester, stellenweise aber fast gar nicht mit der harten Haut verbunden ist und dass ebenso die Netzhaut mit ungleicher Festigkeit an der Aderhaut und an dem Glaskörper haftet, scheinen direkt darauf hinzudeuten, dass die einzelnen Theile und Punkte dieser Häute bis zu einem gewissen Grade selbstständig kontrahirt, gespannt, verrückt oder anderweit verändert werden sollen.

An der Regenbogenhaut können wir die selbstständige Beweglichkeit der einzelnen Theile direkt wahrnehmen. Die Pupille bildet keineswegs immer einen Kreis, sondern jenachdem der stärkere Lichtreiz mehr oder weniger von der Seite kömmt, verzieht sie sich zu unregelmässigen Formen. Ebenso weicht sie aus der Mitte der Hornhaut nach allen Seiten hin. Die Regenbogenhaut wird aber durch Fäden und Nerven regiert,

welche auf der harten Haut entlang laufen und vorher auch die Aderhaut bedienen, bis sie sich nahe vor dem Iriskanale spalten, um einen Zweig in die Regenbogenhaut zu senden. Hieraus muss man mit Nothwendigkeit schliessen, dass auch die harte und die Aderhaut ähnlicher selbstständigen unsymmetrischen Veränderungen fähig ist.

Dasselbe gilt alsdann von der Linse und dem Glaskörper, welche an dem Ziliarkörper mit den eben genannten Organen in rippenförmigen Linien verwachsen sind. Beide werden ihre Form, Wölbung und Dichtigkeit in einzelnen Richtungslinien und Ebenen verändern können. Die vergleichsweise dünne und kleine Linse kann zu solchen unsymmetrischen Veränderungen leicht durch die Nerven der Häute veranlasst werden, welche von dem Ziliarbande her dieselbe von oben und von unten überziehen. Der Glaskörper dagegen, auf welchem sich der rippenförmige Ziliarkörper breit ausdehnt, ist durch die zellenartige Struktur seiner inneren Häute zu einer solchen unsymmetrischen Veränderung befähigt. Die vielfache Verbindung dieses Zellenwerkes des Glaskörpers mit der Haut, welche die Linse von hinten überzieht, stiftet denn ausserdem noch zahlreiche Angriffspunkte für die hintere Linsenwand, wodurch die Veränderlichkeit der einzelnen Theile des Linsenkörpers und die Abhängigkeit zwischen der Linse und dem Glaskörper erhöht wird.

Einen Versuch, welcher die unsymmetrische Veränderung des Auges direkt bestätigt, werden wir in §. 7 No. 6 mittheilen.

Unter allen diesen unsymmetrischen Veränderungen verstehe ich solche, welche durch die unsymmetrische Lichtwirkung des Objektes hervorgerufen werden. Man nimmt übrigens an, dass das Auge in Beziehung zu dem vertikalen Durchmesser nicht ganz ebenso gebaut sei wie zu dem horizontalen und dass aus dieser subjektiven Anlage, welche man die Asymmetrie des Auges nennt, gewisse unsymmetrische Funktionen und Erscheinungen entspringen. Hierauf werden wir weiter unten zurückkommen.

5. Bewegungen der Regenbogenhaut. Was die Selbstständigkeit der Bewegung der einzelnen Organe betrifft; so zeigt sich dieselbe in hervorragendem Grade an der Regenbogenhaut. Unter gewöhnlichen Verhältnissen wird die Pupille durch verstärkten Lichtreiz verengt, ausserdem folgt diese Verengung induktorisch denjenigen Veränderungen des Auges, welche mit dem Sehen in grösserer Nähe verbunden und zugleich mit einer stärkeren Konvergenz der Augen begleitet sind. Hiernach muss man also die Verengung der Pupille als eine Kraftanstrengung der Bewegungsnerven der Regenbogenhaut, nicht als eine Erschlaffung derselben ansehen.

Im Schlafe soll sich die Pupille stark verengen. In diesem Zustande konvergiren die Augen auch stark nach innen und oben (was unzweifelhaft wegen möglichster Schwächung des äusseren Lichtes geschieht, indem sich die nach oben und innen gekehrte Pupille hinter den Knochen der Augenhöhle verbirgt, sich also gegen den Reiz des durch die Augenlider dringenden Lichtes am besten schützt). Demgemäss erscheint die Verengung der Pupille im Schlafe als eine gesetzmässige Induktionswirkung, welche durch die Thätigkeit der Augenmuskeln bedingt ist, und

welche in diesem Falle stärker ist, als die entgegengesetzte, erschlaffende Wirkung, welche die Netzhaut bei der eintretenden Dunkelheit ausübt.

Die Verengung der Pupille im Schlafe soll selbst dann noch stattfinden, wennauch ausnahmsweise die Augenaxen nicht nach innen konvergiren. Hierdurch würde sich also der Bewegungsapparat der Regenbogenhaut als ein selbstständiger zu erkennen geben.

Im Übrigen scheint mir aus letzterem Umstande noch keineswegs zu folgen, dass die Verengung der Pupille ein Akt der Erschlaffung sei, wie es von manchen Physiologen angenommen wird. Ich halte diese Bewegung vielmehr für einen Akt der Anstrengung. Im Schlafe erschlaffen allerdings sehr viele Nerven; aber keineswegs alle. Manche werden im Gegentheil in erhöhte Thätigkeit versetzt, z. B. die Ernährungsnerven und manche motorische Nerven der Lunge und des Herzens. Zu den letzteren sind auch diejenigen Nerven zu rechnen, welche die Augenlider fest schliessen, die Augen nach innen und oben kehren und die Regenbogenhaut kontrahiren.

Dass überhaupt im Schlafe gewisse Partien des Nervensystems stärker angeregt werden, ist ebenso natürlich wie begreiflich. Die Ursache aller animalischen Thätigkeit, die Wechselwirkung zwischen Blut und Nervensubstanz dauert fort, erzeugt also ununterbrochen eine gewisse Menge verfügbarer Kraft. Im Schlafe findet nur eine andere Vertheilung der Blutmasse und der Nerventhätigkeit statt, der mittlere Kraftbestand bleibt nahezu derselbe, und während gewisse Nerventhätigkeiten erschlaffen, müssen sich nothwendig andere steigern, und zu diesen letzteren, welche den Impuls zur Thätigkeit unfreiwillig durch die allgemein veränderte Disposition erhalten, gehören meines Erachtens auch die Bewegungsnerven der Regenbogenhaut.

Dieser Annahme steht auch nicht die Beobachtung entgegen, dass sich die Pupille verengt, sobald die Chloroformisirung eine gewisse Höhe erreicht, welche man für gefahrvoll halten muss, sodass jene Verengung eine Mahnung für den Operateur zur Einstellung der Chloroformisirung bei chirurgischen Operationen ist. Denn wenngleich durch die Anwendung solcher Mittel gewisse und viele Nerven, namentlich sensibele, gelähmt werden; so kann man doch nicht behaupten, dass sich die Lähmung auf alle Nerven erstrecke. Im Gegentheil muss die gewaltsam veränderte Richtung in der Blut- und Nerventhätigkeit nothwendig gewisse Partien des Nervensystems stärker affiziren, und zu den letzteren mögen die Bewegungsnerven der Regenbogenhaut gehören.

Ja, wennauch im Todeskampfe, kurze Zeit vor dem Tode, die Pupille sich verengt; so spricht Diess nicht gegen unsere Annahme. Denn man kann keineswegs behaupten, dass in diesem Kampfe nicht gewisse Nerven zu einer lebhaften Anstrengung veranlasst würden. Letzteres erscheint vielmehr sehr wahrscheinlich, und selbst bei dem Tode durch direkte Lähmung gewisser Nerven wird in gewissen anderen Nerven desshalb eine erhöhte Thätigkeit eintreten, weil die an manchen Stellen gehemmte Blutbewegung hier einen abnormen Andrang erzeugt. Bei dem Tode durch Lähmung liegt vielleicht in vielen Fällen die unmittelbare Todesursache nicht einmal in dem gelähmten, sondern in einem überreizten und dadurch beschädigten Organe.

Im Momente des Todes erweitert sich auch die Pupille ungewöhnlich. Wenn also die stärkste Lähmung eintritt, schlägt die Verengung der Pupille in das Gegentheil um. Nach dem Tode stellt sich aber die Pupille auf einen mittleren Stand, und da in diesem Zustande unzweifelhaft vollständige Ruhe aller Nerven herrscht; so beweis't diese Thatsache mehr als jede andere, dass eine starke Verengung der Pupille kein Zustand der Erschlaffung, sondern nur ein Zustand erhöhter Thätigkeit sein kann.

§. 7.

Systematische Eintheilung der zum Sehen erforderlichen Apparate und Funktionen.

1. Die wesentlichen Eigenschaften sichtbarer Gegenstände. Die wesentlichen Eigenschaften eines Gegenstandes, welche durch das Auge zum geistigen Bewusstsein gebracht werden sollen, sind zweierlei Art: seine räumlichen Verhältnisse und seine Lichtwirkung. Die ersteren Eigenschaften bestimmen den Ort, wo der Gegenstand und seine Theile existiren, die letzteren Eigenschaften dagegen die Art, wie der Gegenstand und seine Theile existiren; durch die ersteren wird ein Zustand, durch die letzteren eine Thätigkeit (Ätherthätigkeit) des Gegenstandes erkannt.

Jede dieser beiden Kategorien von Eigenschaften sichtbarer Gegenstände zerfällt wiederum in zwei besondere Gruppen. Die räumlichen Verhältnisse trennen sich in die Beziehungen des Objektes zum absoluten Raume oder vielmehr zum Erdkörper, d. h. zur Vertikalen und zum Horizonte und in die Beziehungen der Theile des Objektes zueinander und zu unserem Körper. Durch die erste Gruppe wird also der Ort und die Lage des Gegenstandes im Raume, durch die zweite Gruppe dagegen die Form und Grösse dieses Gegenstandes, sowie auch seine Lage gegen unser Auge, insbesondere seine Entfernung bestimmt.

In der zweiten Kategorie von Eigenschaften, nämlich bei denjenigen Eigenschaften, welche die Lichtwirkung oder die Ätherthätigkeit des Objektes betreffen, haben wir die Stärke oder Intensität der Thätigkeit zu unterscheiden von der besonderen Weise dieser Thätigkeit. Auf der Quantität oder Kraft der Lichtthätigkeit, der Amplitude der Ätherschwingungen beruht die Lichtstärke oder Helligkeit; auf der Weise dieser Thätigkeit, der Vibrationsgeschwindigkeit oder Schwingungszahl, beruht die Farbe des Objektes.

2. Motorische, sensibele und sensuelle Thätigkeit. Um die vorstehenden wesentlichen Eigenschaften sichtbarer Objekte zur Erkenntniss zu bringen, werden besondere Apparate des Organismus in Funktion gesetzt oder besondere organische Prozesse darin erweckt.

Die Beziehungen des Objektes zum äusseren Raume, zum Erdkörper, werden nicht ausschliesslich durch das Auge zur Erkenntniss gebracht. Das Auge bestimmt nur die Beziehungen des Objektes zum

Auge selbst und zum Kopfe. Die Stellung des Kopfes zum Erdkörper wird nicht durch das Auge, sondern durch die Muskeln der Glieder fühlbar gemacht und zum Bewusstsein gebracht. Dem Auge liegt für diese Beziehungen nur die Funktion ob, die Verhältnisse des Objektes zum Kopfe zum Verständnisse zu bringen. Zu diesem Zwecke wird der Apparat der Bewegungsmuskeln des Auges in Thätigkeit gesetzt: das Auge wird gedreht oder auf das Objekt gerichtet: auf dem Zeugnisse dieses Muskelapparates allein beruht das Urtheil über die Lage der Augenaxe zur Kopfaxe und dadurch das Urtheil über die Lage des Objektes und des ganzen Gesichtsfeldes zur Kopfaxe. Diese Thätigkeit des Auges ist keine eigentlich optische, sondern eine mechanische, von dem gewöhnlichen, dem Willen unterworfenen motorischen Nerven ausgeführte; sie wird erkannt durch eine Thätigkeit der mit den Muskeln verbundenen sensibelen oder Gefühlsnerven.

Die Erkenntniss der Beziehungen der Theile des Objektes zueinander und zu unserem Auge, also die Vorstellung von Grösse, Form und Entfernung des Objektes bedingt die Thätigkeit der optischen Apparate des Auges, ist eine sensuelle oder Sinnesthätigkeit, keine motorische und keine sensibele Thätigkeit, wie ich weiter unten in §. 14 speziell nachweisen werde.

Wie die Erkenntniss der räumlichen Verhältnisse, ebenso beruht auch die Erkenntniss der Stärke oder Intensität des Lichtes und die der Farbe auf rein sensuellen, d. h. auf Thätigkeiten des eigentlichen Sehnerven.

Um die Lichtwirkung des Objektes scharf und deutlich empfangen und erkennen zu können, müssen die einzelnen Organe des Auges, der Augapfel, die Linse, der Glaskörper, die Augenwasserkammer und die Pupille gewisse Formen und Dichtigkeiten annehmen, sodass das von jedem Punkte des Objektes ausgehende Lichtbündel sich auf der Netzhaut konzentrirt. Diese Thätigkeit ist die Akkommodation des Auges.

Man kann die Leitung dieser Akkommodationsthätigkeit, da entschiedene Bewegungen damit bezweckt werden, gewissen motorischen Nerven zuschreiben: allein dieselben gehören nicht zu der gewöhnlichen Art der motorischen Nerven, welche die Glieder und Eingeweide regieren. Die Akkommodationsnerven stehen nämlich nicht, was ihre normale Thätigkeit betrifft, unter der Herrschaft des Willens, wie die Nerven der freiwilligen Bewegungen: sie stehen auch nicht, wie die Nerven der unfreiwilligen Herz-, Magen- und Eingeweidebewegungen unter der Herrschaft gewisser stetig wirksamen organischen Prozesse: sie werden vielmehr erst durch den Lichtreiz in Funktion gesetzt und hören auf zu funktioniren, wenn dieser Reiz aufhört.

Vermöge der Akkommodation wird also von dem äusseren Objekte ein scharfes Bild auf der Netzhaut entworfen und es wird bewirkt, dass irgend ein Punkt des Objektes einen bestimmten Punkt der Netzhaut und demzufolge eine bestimmte Primitivfaser des Sehnerven affizirt. Die räumlichen, die Intensitäts- und Farbenverhältnisse des Objektes kommen demnach dadurch zum Bewusst-

sein, dass gesonderte Fasern des Sehnerven in die physiologisch-optische oder sensuelle Nerventhätigkeit versetzt werden.

3. Äusserer Reiz und innere Thätigkeit. Das Auge bewirkt, indem dasselbe auf der Netzhaut ein Bild des äusseren Körpers entwirft, dass dieser Körper vermöge seiner Lichtthätigkeit auf unser Nervensystem eine Thätigkeit, einen Reiz ausüben kann. Der Sehnerv trägt diese Thätigkeit zum Gehirne, bringt also den äusseren Reiz zum Bewusstsein oder zur Erkenntniss. Alle Vorgänge, welche sich ereignen, bis das Netzhautbild erzeugt und erkannt ist, oder welche eben die Erzeugung und die Erkenntniss ermöglichen und bedingen, können daher nicht auf Bewusstsein beruhen, da das Bewusstwerden der Endzweck dieser Vorgänge ist. Beim Zustandebringen des Netzhautbildes kann also weder Wille, noch Überlegung mitwirken; es kann mithin auch keine Erfahrung dabei massgebend sein (wie von vielen Physiologen nicht bloss beim Sehen, sondern bei allen Sinnesthätigkeiten behauptet wird). Nur der äussere Lichtreiz kann es sein, welcher die Hülfsakte, wie Akkommodation, und den Hauptakt der Vorstellung bewirkt und wir werden weiter unten sehen, wie Diess auf einem ganz gesetzlichen Wege möglich ist.

Dass der Organismus eine gewisse Ausbildung besitzen, eine gewisse Entwicklungsstufe erlangt haben muss, um diese Funktionen normal zu erfüllen, um sich prompt zu akkommodiren, um rasch, leicht und sicher zu erkennen, ist ebenso selbstverständlich, als dass der Baum erst eine gewisse Reife haben muss, um Früchte, namentlich um vollkommene Früchte zu tragen; ferner leuchtet ein, dass eine höhere Ausbildung nicht ausschliesslich Sache des vegetativen Wachsthums zu sein braucht, dass vielmehr Übung und planmässiger, verstandesmässiger Gebrauch eines Organs jene Ausbildung erheblich fördern und erhöhen kann, dass also Erfahrung eine gewisse Rolle bei der Entwicklung der Fähigkeiten eines Organs spielen und dadurch den Gebrauch dieses Organs erleichtern, aber keineswegs das Grundprinzip, worauf dieser Gebrauch beruht, im mindesten beeinflussen kann.

Ebenso wenig wie Übung und Erfahrung, ebenso wenig ist Verstandesthätigkeit oder abstraktes, auf Selbstbestimmung beruhendes Denken, Reflexion, Kombination, Assoziation u. s. w. zur Erzegung des Netzhautbildes und der sensuellen Nerventhätigkeit im Spiele; sie ist vielmehr erst eine Wirkung dieses Bildes.

Bei der Erzeugung dieses Bildes und der sensuellen Nerventhätigkeit sind nur unbewusste Reize wirksam, also Thätigkeiten, wobei Verstand und Wille weder offen, noch im Geheimen oder unvermerkt funktioniren. Solche Reize oder Empfindungen brauchen darum nicht als der geistigen Kraft entbehrend angesehen zu werden: ich behaupte im Gegentheil, dass es keine animalische Thätigkeit giebt, welche nicht geistiger Natur wäre, oder vielmehr, dass eben die Erzeugung der geistigen Kraft das Wesen der animalischen Stoffbildung ausmacht, dass also Geist und animalischer Stoff ebenso nothwendig zusammengehören oder ein unzertrennliches Ganze bilden, wie Kraft und Materie überhaupt. Dessenungeachtet kann nicht jede animalische Bil-

dung oder jeder animalische Prozess alle Eigenschaften des Geistes aufweisen, ebenso wenig wie jeder anorganische Prozess alle anorganischen Kräfte und Erscheinungen (Licht, Wärme, Elektrizität u. s. w.) zeigt. Das Bewusstsein aber ist nur eine spezielle Eigenschaft der geistigen Kraft, welche auch fehlen kann, ohne damit den Geist an sich aufzuheben. Der Schlafende, mancher Irre und mancher Kranke hat Geist ohne Bewusstsein. Es wird daher nicht befremden, wenn ich annehme, dass alle Thätigkeiten, welche in unserem Körper vor sich gehen, mögen sie nun die Ernährung, die Empfindung, die Bewegung, die Sinnenerregung u. s. w. betreffen, geistiger Natur sind, wogegen nur gewisse Prozesse und zwar nur gewisse Gehirnprozesse das Kriterium des Bewusstseins an sich tragen. Solche Prozesse nun sind bei der Akkommodation des Auges oder bei der Herstellung eines scharfen Netzhautbildes und auch bei der Erweckung der sensuellen Nerventhätigkeit nicht wirksam.

Diese Thätigkeit wird unmittelbar durch einen äusseren Impuls erweckt, und sie ist wiederum bei ihrem Eintritte ins Gehirn der unmittelbare Impuls zu einer Gehirnthätigkeit, auf welcher das Bewusstsein der Vorstellung oder, wenn man will, die geistige Vorstellung des Sinneseindruckes beruht.

Dass durch diese Erregung des Gehirns eine weitere Reihe von Gehirnthätigkeiten, Denk- und Gemüthsthätigkeiten induzirt werden können, welche mit dem Prinzipe des Sehens Nichts gemein haben, obgleich sie eine Folge davon sind, ist ebenso einleuchtend.

Wie das Denken und das Empfinden des Gemüths ureigene Funktionen besonderer Organe sind, ebenso ist das Sehen eine eigenthümliche oder selbstständige Funktion eines besonderen Organs. Diese Selbstständigkeit der einzelnen Funktionen schliesst die Vereinigung derselben zu einem höheren Ganzen, welches die spezifischen Verschiedenheiten der Theile unter ein allgemeineres Einheitsprinzip ordnet und sie dadurch in gesetzliche Beziehungen zueinander bringt, nicht aus: ich meine, die Selbstständigkeit jener einzelnen Funktionen ist kein Hinderniss, um daraus einen Menschengeist aufzubauen, in welchem sich jene Thätigkeiten zu Wechselwirkungen unter einem höheren Gesetze verbinden, welches den ganzen und komplizirten Menschen doch als einen einheitlich geordneten Organismus mit mannichfaltigen Grundeigenschaften erscheinen lässt.

Es beeinflussen sich also die verschiedenen Thätigkeiten des Organismus untereinander und stehen in einem gemeinschaftlichen Verbande, sie sind auch geeignet, in letzter Instanz gleichartige Thätigkeiten in gewissen Organen zu induziren und können vermöge dieser gemeinsamen Unterordnung unter ein höheres Einheitsprinzip sich bei der Entwicklung und Ausbildung des Organismus unterstützen: alles Dieses hebt aber die spezifische Eigenthümlichkeit und die hierin beruhende Selbstständigkeit der einzelnen Grundthätigkeiten nicht auf. So kann der Tastsinn den Gesichtssinn kontroliren und zur Ausbildung des Auges beitragen; allein sehen lernt das Auge nicht mit Hülfe des Tastsinnes, nicht mit Hülfe i

end einer anderen Thätigkeit: das Sehen ist eine dem Sehnerven ganz lein zukommende und ihm, unabhängig vom Denkvermögen und nabhängig von der Aussenwelt innewohnende Eigenschaft.

4. Einstellung der Augenaxe. Der erste Akt beim Sehen besteht arin, dass wir den Körper, dann den Kopf und endlich das Auge em Objekte, welches auf irgend eine Weise unsere Aufmerksamkeit erggt und die Absicht, dasselbe zu sehen, erweckt hat, so weit zuwenen, dass ein Bild davon in unser Auge fallen kann. Dieses Bild wird echt sofort auf den Bezirk des deutlichen Sehens fallen, welcher nur eine eine Fläche um den Pol des Auges einnimmt, insbesondere wird der unkt, in welchem wir das Objekt zu fixiren beabsichtigen, nicht sofort diesen Pol, sondern auf eine Stelle nebenbei fallen. Wenn ein solches ild erst entstanden ist, wenn sich also erst an irgend einer Stelle der etzhaut ein Lichtreiz auf den Sehnerven äussert, genügt der Gedanke der die Absicht, dieses Bild fixiren zu wollen, um das Auge mit der össten Schnelligkeit und Sicherheit so zu drehen, dass jener ldpunkt genau in die Augenaxe fällt: so prompt vollziehen die motorihen Nerven, welche die Augenmuskeln regieren, die Befehle, welche die etzhaut oder der Sehnerv in dem betreffenden Gehirnorgane hervorruft.

Um eine solche Sicherheit in der Einstellung der Augenaxe erärlich, eine solche Abwesenheit jeder Versuchsbemühungen beeiflich zu finden, muss man erwägen, dass das Auge in allen seinen opschen Organen nur durch ein solches Lichtbündel symmetrisch und ollkommen affizirt wird, dessen Axe in der Sehaxe liegt, dass aber des Lichtbündel mit geneigter Axe das Auge bei der Akkommodation unsymmetrischen Abweichungen von der Normalgestalt, so zu einer Thätigkeit nöthigt, welche nur durch das Aufgebot einer sonderen Anstrengung erreicht wird, und dass ausserdem die Affekon einer nicht in der Axe des Sehnerven liegenden Nervenfaser eine symmetrische Thätigkeit im Sehnerven und im Sensorium hervorruft. e Überführung des Netzhautbildes eines Punktes von einer Seitenlage den Pol des Auges entspricht also dem Übergange aus einem unsymetrischen, die Besiegung eines natürlichen Widerstrebens erfordernden einen symmetrischen, normalen, mit der geringsten Kraftanstrengung frecht zu erhaltenden Zustand, oder dem Übergange eines gewissen Kräfn unterworfenen Systems in diejenige Lage, in welcher sich dasselbe ter der Herrschaft jener Kräfte in einem stabilen Gleichgewichte hält.

Demgemäss und wegen der Kontinuität der Netzhaut erfolgt jener bergang mit so grosser Leichtigkeit und staunenswerthen Sierheit.

Wir sind uns bei der Einstellung der Augenaxe zwar der Absicht, nen Punkt zu fixiren, und der Macht, die Augenaxe in eine beliebige chtung bringen, dieselbe bewegen und festhalten zu können, vollständig wusst; allein wir empfinden, dass die Präzision, mit welcher die beabhtigte Bewegung ausgeführt wird, einem nicht begriffenen Reize Dasein verdankt, und dieser Reiz oder Drang liegt eben in der vorhend beschriebenen unsymmetrischen Affektion des Auges, des Seh-

nerven und des Sensoriums, welche stattfindet, wenn ein Punkt, welchen wir *betrachten* oder auf welchen wir das Auge *akkommodiren* wollen, sein Bild *neben* den Pol der Netzhaut wirft.

Noch deutlicher tritt aber die unbewusste Wirkung des Lichtreizes in der *Konvergenz* der *beiden Augenaxen* hervor. Diese Konvergenz, vermöge welcher sich beide Augenaxen auf den fixirten Punkt richten, hängt gar nicht vom Willen ab. Sie vollzieht sich sogar, wenn das eine Auge *geschlossen* oder *verdeckt* ist, während das andere Auge allein das Objekt fixirt (wenn auch der unvollständige Lichtreiz in diesem Falle die Konvergenz nicht ganz richtig werden lässt). Hierdurch zeigt sich die Konvergenz der Augenaxen als eine *Induktionswirkung* der nachstehend zu beschreibenden *Akkommodation*.

5. Akkommodation. Nachdem die Augenaxe in die richtige Stellung gebracht ist, kömmt es darauf an, das von je einem Punkte des Objektes ausgehende Strahlenbündel *in einem Punkte* der Netzhaut zu *konzentriren* oder den *Brennpunkt* jenes Bündels auf die *Netzhaut* zu bringen.

Wenn man sich das Auge wie ein optisches Instrument von ganz *unveränderlichen* Dimensionen und *optischen Eigenschaften* denkt; so kann jene Forderung offenbar nur erfüllt werden, wenn das Objekt eine *bestimmte Entfernung* und eine *bestimmte Grösse* hat. Variirt die Entfernung oder variirt der Sehwinkel, also die Neigung der äussersten Strahlenbündel; so *müssen nothwendig die Dimensionen des Auges sich ändern*, um die *Brennpunkte auf der Netzhaut zu erhalten*. Diese Veränderungen bilden die *Akkommodation* oder *Anpassung* des Auges. Ihre Aufgabe besteht vornehmlich darin, sich auf die *Entfernung* des Objektes einzurichten. Ich nenne diese Aufgabe desshalb die *vornehmliche*, weil sie die einzige zu erfüllende ist, solange das Objekt nur ein *Punkt* in der Sehaxe ist, solange also der Fall der höchstmöglichen Schärfe oder des vollkommensten Sehens vorliegt und sofern das Auge nach dem ihm innewohnenden Organisationsplane *vollkommen* gebildet ist (in welchem Falle, wie wir in §. 8 No. 21 zeigen werden), die *Intensität* und *Farbe* des Objektes keinen Einfluss auf die Akkommodation hat. Im Allgemeinen jedoch, wo das Objekt *Ausdehnung* besitzt, wo also nicht bloss *ein*, sondern *mehrere* Brennpunkte auf die Netzhaut zu führen sind, besteht die Aufgabe der Akkommodation auch noch darin, das Auge auf die *Grösse* und *Form* des Objektes einzurichten.

Die wesentlichen Akkommodationsänderungen, welche das Auge erleiden muss, den speziellen Zusammenhang, welcher zwischen diesen Änderungen und den Eigenschaften des Objektes besteht, sowie die gegenseitige Abhängigkeit dieser Änderungen können wir erst im nächstfolgenden Paragraphen auf Grund dessfalsiger mathematischen Rechnungen genau angeben. Hier beschränken wir uns darauf, nur ein allgemeines Bild von diesen Thätigkeiten zu entwerfen.

Angenommen, das Auge sei für einen Punkt in der Sehlinie von bestimmter Entfernung genau eingerichtet. *Nähert* sich dieser Punkt dem Auge; so würde, wenn sich am Auge Nichts änderte, der Brennpunkt

edenfalls hinter die Netzhaut fallen: das Lichtbild jenes Punktes auf er Netzhaut hörte also auf ein Punkt zu sein und verwandelte sich in ine Kreisfläche, einen sogenannten Zerstreuungskreis. Hierit hörte das scharfe, deutliche und richtige Sehen offenbar sofort auf: er äussere Punkt erschiene uns überhaupt nicht mehr als Punkt, sonern als ausgedehnte Fläche.

Um den Brennpunkt auf die Netzhaut zu führen, stehen nun mehrere kte zu Gebote: zunächst die Verlängerung der Augenaxe. Man rückt sich zwar gewöhnlich so aus, dass man sagt, bei der Annäherung es Objektes rücke die Linse vor: wenngleich eine Verlängerung der ugenaxe unverkennbar den Effekt hat, den Abstand der Linse von der etzhaut zu vergrössern; so halte ich doch die Auffassung dieses Aktes s ein Vorrücken der Linse nicht für die rechte. Die Linse spielt erbei keineswegs die einzige Rolle; der Glaskörper und das Augenasser sind dabei ebenfalls betheiligt, und es handelt sich nicht bloss um ne partielle Veränderung einer einzelnen Dimension, sondern um eine tale Veränderung der Gestalt des ganzen Auges. Indem wir diese estaltveränderung näher definiren, bezeichnen wir als erste Bedingung afür die Verlängerung der Augenaxe.

Mit einer solchen Formveränderung ist schon an sich nach dem vorergehenden Paragraphen eine stärkere Wölbung der brechenden berflächen an der Linse und an der Hornhaut verbunden und es uchtet ein, dass diese Veränderung den Zweck der Hereinführung des rennpunktes in die Netzhaut wesentlich unterstützt.

Ebenso zieht jene Formveränderung eine Verdichtung der Linse ach sich, und auch diese Veränderung befördert den in Rede stehenden weck. Noch mehr wird dieser Effekt dadurch unterstützt, dass mit der erdichtung der Linse eine Verdünnung des Glaskörpers verbunen ist (vergl. den vorhergehenden Paragraphen), indem hierdurch der rechungskoeffizient des Glaskörpers vermindert, folglich der relative rechungskoeffizient für den Übergang des Lichtes von dem Glaskörper die Linse vergrössert wird.

Umgekehrt erfordert eine weitere Entfernung des Objektes vom uge Verkürzung der Augenaxe, Verminderung der Wölung und Dichtigkeit der Linse und Vermehrung der Dichgkeit des Glaskörpers.

Die Kugelgestalt der brechenden Medien würde nur dem Falle enau entsprechen, wo das Objekt ein Punkt in der Sehlinie von so star r Leuchtkraft wäre, dass die Pupille selbst eine unendlich kleine Öffnung haben brauchte. Für lichtschwächere Punkte, welche eine grössere upille erfordern, also geneigte Randstrahlen senden, und für ausedehnte Objekte, welche schräge Strahlenbündel einführen, würde e sphärische Aberration erheblich werden. Der Aplanatismus fordert also eine paraboloidenartige Gestalt oder eine schalenförige Struktur der Linse mit variabelen Form- oder Dichtigkeitsverhältssen (§. 8 No. 20).

Endlich beeinflusst wegen der allgemeinen Unvollkommenheit s Organismus auch die Intensität und die Farbe des Objektes die kkommodation in gewissem, wenngleich nicht sehr erheblichem Grade.

6. Unsymmetrische Veränderungen. Im Normalzustande ist da Auge in seiner axialen Partie von der Hornhaut bis zur Netzhaut aller dings nahezu eine Rotationsfigur und in Beziehung zu dieser Axe nac Formen, Dichtigkeiten und optischen Eigenschaften symmetrisch. Dies Symmetrie erhält sich auch bei jeder Entfernung und Grösse des Objek tes, solange das Objekt selbst in Beziehung zur Sehax symmetrisch bleibt, solange also das fixirte Objekt und da ganze umliegende Gesichtsfeld eine Rotationsfigur um die Sehaxe bi det, in welcher jeder beliebige konzentrische Ring in allen seinen Punkte gleiche Helligkeit und Farbe hat.

Sobald diese Bedingung der vollständigen Symmetrie des Gesichts feldes oder des Lichtreizes in der Netzhaut aufhört, hört auch di Symmetrie der Formen, Dichtigkeiten und optischen Ei genschaften des Auges auf. Allerdings überwiegt die Wirkun des fixirten Punktes, welcher ja immer in der Sehaxe liegt, die Wi kung aller übrigen nicht fixirten Punkte in hohem Grade und in imme höherem Grade, je weiter sich die Nebenobjekte seitwärts und vorwärt von ihm entfernen; die Form des Auges wird also nahezu immer sym metrisch sein: allein genau wird dieser Zustand niemals, ausgenom men im Zustande gänzlicher Unthätigkeit im Dunkeln eintreten.

Diese Behauptung lässt sich leicht konstatiren. Zunächst bemerk man, dass die Pupille fast niemals genau kreisrund ist. Kömmt da intensivste Licht nicht normal ins Auge; so verzieht sich die Pupill sofort zu einer schiefen Figur: namentlich schiebt sich die Iris mehr a der Seite der helleren Lichtbündel vor, schneidet also vorzugsweise dieje nigen Bündel ab, welche normal auf die Hornhaut fallen.

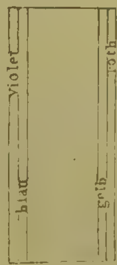
Da nun die Bewegung der Iris unverkennbar eine Nebenwirkun der vom Lichte affizirten Nerven ist; so muss man schliessen, dass auc die Hauptwirkung entsprechende unsymmetrische Akkommo dationen hervorbringen wird.

Eine zweite Bestätigung liefert folgendes Experiment. Indem ma das eine Auge geschlossen hält und mit dem anderen Auge auf einen he erleuchteten weissen vertikalen Flächenstreifen blickt, nähere man diesen Auge von der rechten Seite her die vertikale Kante eines Kartenblatte welches man so dicht wie nur irgend möglich vors Gesicht hält. Wen die Kante dem Auge ganz nahe ist, nimmt der betrachtete helle Streife Farbensäume an, und zwar ist der Saum an der rechten Grenze jene Streifens nach Fig. 53 aussen roth, dann gelb u. s. w., an der linke Grenze dagegen aussen violet, dann bla u. s. w., wie wenn man diesen Streifen durch ei vertikales Prisma betrachtete. Das Auge ist jetz nicht bloss nicht gehörig achromatisch, als unvollkommen akkommodirt, sondern e ist auch unsymmetrisch von rechts nac links akkommodirt, da bei einer symmetrische Chromasie die Farbensäume rechts und link identisch sein müssten.

Fig. 52.



Fig. 53.



Nähert man das Kartenblatt dem Auge vo der linken Seite; so kehren sich die Farben

säume nach Fig. 52 um; links liegt der rothe, rechts der violette. Die unsymmetrische Akkommodation hat sich in die entgegengesetzte verwandelt.

Nähert man in derselben Weise dem Auge gleichzeitig zwei Kartenblätter von beiden Seiten; so erhält man keine wahrnehmbaren Farbensäume: die Akkommodation ist alsdann, mag sie vollkommen oder unvollkommen sein, von rechts und links wenigstens symmetrisch.

Auf dieses Experiment werden wir später zurückkommen.

§. 8.

Mathematische Theorie der Akkommodation und der Linsensysteme überhaupt.

Es liegt zwar in der Natur der Sache, dass die Akkommodation des Auges auf die verschiedenen Entfernungen, Grössen, Farben und Helligkeiten durchaus nicht vor sich gehen kann, ohne dass das Auge diejenigen Veränderungen der Dimensionen, Formen, Dichtigkeiten und sonstigen Eigenschaften erleidet, welche auf Grund optischer Gesetze nöthig sind, um eine Konzentration der Lichtbündel auf der Netzhaut zu ermöglichen: allein da die Meinung noch nicht ganz erloschen ist, dass die wirklichen Veränderungen des Auges viel zu unbedeutend seien, um jenen Effekt hervorzubringen; so wird es nöthig sein, jene Gesetze mathematisch zu entwickeln. Ausserdem kann nur eine solche Behandlung zur vollständigen Erkenntniss des Akkommodationsgesetzes in seinen einzelnen Bezügen, nämlich zur Erkenntniss der Abhängigkeit führen, in welcher die einzelnen Akkommodationsakte unter sich und zu den Eigenschaften des Objektes stehen. Der Gegenstand ist für die physiologische Optik von grösster Wichtigkeit, da dieses Gesetz die Grundlage zur Erklärung einer grossen Zahl von Erscheinungen bildet.

1. Dimensionen des reduzirten Auges. Es kömmt uns also jetzt darauf an, das Verhalten der Lichtstrahlen im Auge näher zu untersuchen. Da eine solche Untersuchung nicht bloss für den eben bezeichneten allgemeineren Zweck, sondern häufig auch für untergeordnetere Zwecke, bei denen eine übermässige Genauigkeit nicht noth thut, Einfachheit der Rechnung aber wünschenswerther ist, angestellt wird; so wollen wir dieselbe unter der Voraussetzung gewisser einfachen Verhältnisse beginnen und allmählich steigern.

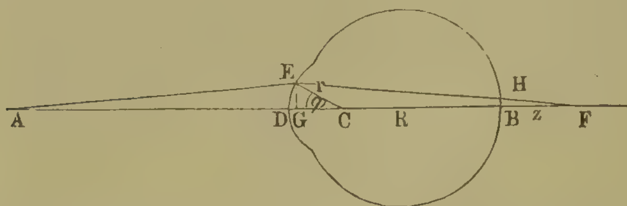
Demgemäss heben wir mit der Betrachtung des sogenannten reduzirten Auges an, nehmen jedoch dafür andere, als die in §. 3 bezeichneten, von Listing vorgeschlagenen Verhältnisse.

Es handelt sich bei diesem Auge nur um drei Elemente: den Radius CD der Krümmung der Hornhaut (Fig. 54 a. f. S.), die Brechbarkeit des Mediums und die Entfernung CB des Krümmungsmittelpunktes C der Hornhaut, welcher im reduzirten Auge stets der Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen ist, von der Netzhaut B.

Damit das Netzhautbild im reduzirten Auge und alle optischen Ab-

weichungen den Vorgängen im wirklichen Auge möglichst gut entsprechen, muss vor allen Dingen die Entfernung BC des Kreuzungspunktes von der Netzhaut der wirklichen gleich sein. Wir nehmen also hierfür, indem wir ein mittleres Auge voraussetzen, welches in der Sehaxe von der Hornhaut bis zur Netzhaut 22,5 Mm. (inkl. der harten Haut 24,5 Mm.) lang ist, den dem wirklichen Werthe sehr nahekommenden Werth $BC = 14{,}5$ Millimeter.

Fig. 54.



Jetzt ist über den Radius der Hornhaut und die Brechbarkeit des Mediums so zu disponiren, dass bei unendlicher Sehweite, wo das Auge am wenigsten gespannt ist und die vorstehenden Dimensionen hat, also für parallele Strahlen der Brennpunkt der Zentralstrahlen in die Netzhaut B fällt.

Listing hat (indem er für BC statt des vorstehenden Werthes von $14^1/_2$ den nicht sehr davon verschiedenen Werth von 15 Mm. annimmt) den Brechungskoeffizienten des Mediums gleich dem des Glaskörpers oder $= 1{,}34$ gesetzt und gefunden, dass dann der Hornhaut ein Radius CD von 5,1 Mm. gegeben werden muss. Da die Hornhaut in Wirklichkeit einen Radius von 8 Mm. hat; so erscheint mir die Reduktion dieser wichtigen Dimension auf 5,1 Mm., also fast auf die Hälfte für unsere Zwecke zu bedeutend, um beibehalten werden zu können. Der Gang der nachfolgenden Rechnung wird die Mittel liefern, welche zu einer passenderen Bestimmung jenes Radius und Brechungskoeffizienten dienen.

Es sei in Fig. 54

r der Radius $CD = CE$ der Hornhaut,

R der Abstand CB des Mittelpunktes C der Hornhaut von der Netzhaut B,

a die Entfernung AD eines in der Augenaxe liegenden Objektes A von der Hornhaut,

b der Abstand GE von der Augenaxe, in welcher der Strahl AE auf die Hornhaut fällt,

φ der entsprechende Winkel ECD,

z die Entfernung BF von der Netzhaut, in welcher der gebrochene Strahl EH die Axe schneidet, sodass z positiv oder negativ ist, jenachdem F ausserhalb oder innerhalb der Netzhaut liegt,

ϱ die Abweichung BH des Punktes H, in welchem die Netzhaut getroffen wird, von der Axe B,

n der Brechungskoeffizient für das Medium des reduzirten Auges.

Wenn man die genauen Formeln, welche das Brechungsgesetz ergiebt, in einer für die gegebenen Verhältnisse völlig zulässigen, auf die Kleinheit des Winkels EFD gestützten Weise abkürzt; so ergiebt sich für z und ϱ leicht die Auflösung

$$z = \frac{n\,r}{n - 1 - \frac{r}{a}} \frac{\sin\varphi}{\varphi} - R - r\cos\varphi$$

$$\varrho = \frac{r\,z\sin\varphi}{r + R + z}$$

Die grösste Öffnung der Pupille bei gewöhnlicher Tageshelligkeit und deutlichem Sehen ist höchstens zu 4 Mm., also $b = r\sin\varphi$ zu 2 Mm. anzunehmen. Da nun in Wirklichkeit $r = 8$ Mm. ist; so ist das in Betracht kommende Maximum des Winkels φ für die grösste Öffnung zu $14^1/_2{}^0$ anzunehmen. Hierfür ist $\sin\varphi = 0{,}250$, $\cos\varphi = 0{,}968$ und $\varphi = 0{,}253$. Der Abstand R hat den Werth 14,5.

Für unendliche Entfernung des Objektes oder $a = \infty$ hat man

$$z = \frac{n\,r\sin\varphi}{(n-1)\,\varphi} - R - r\cos\varphi$$

und für Zentralstrahlen oder unendlich kleine Werthe von φ, indem hierfür $\frac{\sin\varphi}{\varphi} = 1$ ist,

$$z = \frac{r}{n-1} - R$$

$$\varrho = \frac{r - (n-1)\,R}{n} \cdot \varphi$$

Damit diese Strahlen in der Netzhaut konvergiren, muss $z = 0$, folglich

$$r = (n-1)\,R$$

sein.

Diess ist also die sehr einfache Beziehung, welche zu erfüllen ist, damit die parallelen Zentralstrahlen ihren Brennpunkt auf der Netzhaut finden.

Setzte man mit Listing $R = 15$ und $n = 1{,}34$; so fände sich ganz richtig $r = 5{,}1$. Für unseren Werth von R hat man

$$r = (n-1)\,14{,}5$$

Giebt man dem Medium die Brechbarkeit des Glaskörpers, setzt also $n = 1{,}34$; so ergiebt sich für die Hornhaut der Radius $r = 4{,}93$, welcher gegen den wirklichen Radius von 8 Mm. zu klein erscheint.

Giebt man dem Radius r den wirklichen Werth $r = 8$; so muss man den Brechungskoeffizienten des Mediums zu $n = 1{,}55$ annehmen. Dieser Werth setzt ein Medium voraus, welches nur um den siebenten Theil brechbarer ist als der Glaskörper und das Augenwasser und nur um den achten Theil brechbarer als die Linse. Diese Abweichung von der Wirklichkeit erscheint so unbedeutend, dass sie die Beibehaltung der wahren Krümmung der Hornhaut sehr rechtfertigt.

Wir haben hiernach für das reduzirte Auge die Werthe

$$r = 8 \qquad R = 14{,}5 \qquad n = 1{,}55$$

2. Grösse der Akkommodationsveränderungen im reduzirten Auge. Hierdurch werden die obigen Formeln

$$z = \frac{12,4}{0,55 - \frac{8}{a}} \frac{\sin \varphi}{\varphi} - 14,5 - 8 \cos \varphi$$

$$\varrho = \frac{8\, z \sin \varphi}{22,5 + z}$$

Für Zentralstrahlen oder unendlich kleine Werthe von φ ist

$$z = \frac{12,4}{0,55 - \frac{8}{a}} - 22,5$$

Für unendlich entfernte Objekte, also für $a = \infty$, wird $z = 0$.

Nimmt man für die Entfernung des deutlichen Sehens den Werth von $a = 250$ Millimeter an, welcher etwa der Länge von $9^1/_4$ Pariser Zoll entspricht; so erhält man $z = 1,4$. Die Akkommodation auf die mittlere Sehweite erforderte also nur eine Verlängerung der Augenaxe um 1,4 Millimeter, wenn die Krümmungen und Dichtigkeiten der brechenden Medien dieselben blieben.

Um das Auge auf die halbe Länge dieser mittleren Sehweite von $a = 125$ Mm. ($4^1/_2$ Zoll) zu akkommodiren, bedürfte es unter derselben Voraussetzung einer ferneren Verlängerung um 1,6 Mm., im Ganzen um 3 Mm. In dieser Nähe kann man jedoch nicht mehr deutlich sehen, was beweis't, dass die Akkommodation hierfür nicht mehr vollständig zu Stande kömmt.

Die Variation der Länge der Augenaxe, welche erforderlich ist, wenn die Krümmung und Dichtigkeit aller Medien dieselbe bleibt, kann man wie die Veränderung ansehen, welche die Grösse R erleidet, während r und n konstant bleiben. Um den Einfluss der Veränderungen von r und n zu übersehen; so hat man für Zentralstrahlen oder $\varphi = 0$ allgemein

$$z = \frac{n\, r}{n - 1 - \frac{r}{a}} - R - r$$

Differentiirt man diese Formel (da es sich immer nur um geringe Änderungen der Grössen R, r, n handelt) für jede der drei unabhängigen Variabelen R, r, n; so erhält man

$$dz = -\, dR + \left[\frac{(n-1)\, n}{\left(n - 1 - \frac{r}{a}\right)^2} - 1 \right] dr - \frac{\left(1 + \frac{r}{a}\right) r}{\left(n - 1 - \frac{r}{a}\right)^2} dn$$

Setzt man hierin für R, r, n die Werthe $R = 14{,}5$ $r = 8$ $n = 1{,}55$; so kömmt

$$dz = -\, dR + \left[\frac{0,8525}{\left(0,55 - \frac{8}{a}\right)^2} - 1 \right] dr - \frac{8\left(1 + \frac{8}{a}\right)}{\left(0,55 - \frac{8}{a}\right)^2} dn$$

Für unendliche Entfernung $a = \infty$ wird diese Gleichung

$$dz = -\, dR + 1,82\,.\, dr - 26,4\,.\, dn$$

Aus dieser Formel erkennt man, wie die Variation dz des Abstandes z des Konvergenzpunktes von der Netzhaut bei unendlich entferntem Objekte von den Variationen dR, dr, dn der Grössen R, r, n abhängt. Für diesen Fall liegt jedoch der Brennpunkt der Strahlen in der Netzhaut und es kommen keine Variationen von z, also auch nicht von R, r, n in Betracht.

Für die mittlere Sehweite $a = 250$ erhält man

$$dz = - dR + 2{,}18\, dr - 30{,}8 \,.\, dn$$

Fände jetzt keine Änderung der beiden Grössen r und n statt; so würde eine Veränderung von z lediglich der einfachen Veränderung der Grösse R gleich sein: ändern sich jedoch gleichzeitig r und n; so ist Diess keineswegs der Fall. Um die obige Veränderung von 1,4 Millimeter durch entgegengesetzte Wirkungen zu vernichten, muss

$$- dR + 2{,}18 \,.\, dr - 30{,}8 \,.\, dn = - 1{,}4$$

oder

$$dR + 2{,}18\, (- dr) + 30{,}8 \,.\, dn = 1{,}4$$

sein.

Diese Bedingung kann auf mancherlei Weise erfüllt werden. Würde z. B. der Krümmungshalbmesser r nur um $^1/_{10}$ Millimeter kleiner, sodass er sich von 8 auf 7,9 Mm. reduzirte; so entspräche Diess schon einer Veränderung von $\frac{2{,}18}{10} = 0{,}218$ Mm. Vermehrte sich ferner die Brechbarkeit des Mediums nur um $\frac{3}{100} = 0{,}03$, sodass der Brechungskoeffizient von 1,55 auf 1,58 überginge; so entspräche Diess einer ferneren Änderung um $30{,}8 \,.\, 0{,}03 = 0{,}924$ Mm. Nachdem nun durch die Variation der Krümmungen und der Dichtigkeiten eine Änderung des Abstandes des Konvergenzpunktes um $0{,}218 + 0{,}924 = 1{,}142$ hervorgebracht ist, braucht sich die Augenaxe nur noch um $dR = 0{,}258$ oder ein Viertelmillimeter zu verlängern, um den Konvergenzpunkt auf der Netzhaut zu erhalten.

Man sieht, diese Veränderungen, welche die Akkommodationsveränderungen zwischen der mittleren und der unendlichen Sehweite darstellen, sind so gering, dass sie sich sehr wohl der Beobachtung entziehen können und sie sind so schwach, dass aus ihrer Grösse keine Zweifel gegen die obigen allgemeinen Ansichten erhoben werden können.

Die Variationen für die Akkommodationen unterhalb der mittleren Sehweite hier näher zu untersuchen, kann von keinem grossen Interesse mehr sein, da hier eine vollkommene Akkommodation doch nicht mehr stattfindet.

Ausserdem lassen wir hier die nach den obigen Formeln sehr leicht auszuführenden Rechnungen auf sich beruhen, welche die Abweichungen der Dispersion und der Aberration, also die Variationen der Grössen n und φ für gegebene Sehweiten a betreffen, da diese Abweichungen zum Theil schon durch die Zusammensetzung des Auges aus mehreren Medien von verschiedener Krümmung, Brechbarkeit und Zerstreuung und nur zum Theil noch durch die Akkommodationsthätigkeit,

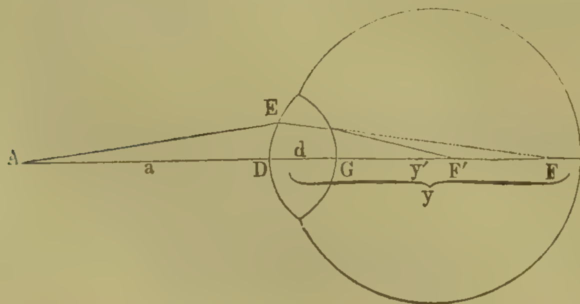
welche den Wechsel von Farbe und Helligkeit begleitet, aufgehoben werden.

Im Allgemeinen bemerken wir nur noch, dass der Effekt einer Verkürzung der Sehweite a, welche bei konstanten Werthen von R, r und n den Konvergenzpunkt um 1 Millimeter weiter hinaus rücken würde, ebensowohl dadurch neutralisirt werden kann, dass die Augenaxe R um 1 Millimeter verlängert (die Linse um 1 Millimeter weiter vorgeschoben), als wie auch dadurch, dass der Krümmungshalbmesser r der brechenden Medien um 0,477 Millimeter verkürzt oder auch dadurch, dass der Brechungsexponent dieser Medien um 0,0325 vergrössert wird. Finden alle diese drei Veränderungen in diesem Maasse gleichzeitig statt; so wird dadurch ein Effekt hervorgebracht, welcher, wenn er lediglich durch die Verlängerung der Augenaxe erzeugt werden sollte, eine Verlängerung von 3 Millimeter erfordern würde.

Was die praktische Messung der Längenveränderung der Augenaxe oder der Ortsveränderung der Linse betrifft; so ist es sehr wohl möglich, dass wenn man die Formveränderungen des Auges nicht in ihren relativen Beziehungen, sondern nur in ihren Beziehungen zu festen Punkten im umgebenden Raume, z. B. zu Punkten des festen Kopfschädels messen kann, leicht Täuschungen entstehen können. Denn wenn sich bei der Verlängerung des Auges die hintere Wand des Augapfels mit bewegt, was sie jedenfalls thut, indem sie sich ohne Zweifel zurückzieht; so wird die Linse gegen einen festen Punkt des Kopfes nicht um den ganzen Betrag der obigen Axenverlängerung, sondern nur um einen Theil derselben vortreten.

3. Genauere Berechnung der Akkommodation. — Vereinfachtes Auge. Das vorstehend betrachtete reduzirte Auge mit nur einem brechenden Medium vergegenwärtigt die Vorgänge in dem wirklichen Auge nur mit einem geringen Grade von Genauigkeit. Zur Erforschung der feineren Gesetze der Akkommodation ist dasselbe durchaus nicht geeignet, indem sich daraus nicht bloss ungenaue, sondern absolut falsche Resultate ergeben. So wächst z. B. der Abstand z des Brennpunktes von der Netzhaut mit dem Winkel φ; hieraus würde folgen, dass die Randstrahlen hinter den Zentralstrahlen konvergiren; während es sich in Wirklichkeit umgekehrt verhält, was für die physiologische Optik sehr wichtig ist. Mittelst eines solchen reduzirten Auges würde es unmöglich sein, Lichtstrahlen von verschiedener Farbe auf einen Punkt zu konzentriren: der Achromatismus kann also ebenfalls nicht daran studirt werden.

Fig. 55.



Zu schärferen Untersuchungen eignet sich die Verbindung einer bikon-

vexen Linse mit einem Medium von schwächerer Brechbarkeit an der Rückseite (Fig. 55). Der vordere Krümmungshalbmesser der Linse ist zwischen dem der Hornhaut und dem der Vorderfläche der wirklichen Linse anzunehmen; für die hintere Wölbung kann nahezu die der Hinterfläche der wirklichen Linse gesetzt werden. Nennen wir dieses System zur Unterscheidung von dem reduzirten Auge das vereinfachte Auge.

Jetzt sei, indem wir den von A ausgehenden Lichtstrahl AE erst einmal nach der ersten Brechung an der Vorderfläche DE der Linse verfolgen, der Abstand DF von dieser Vorderfläche, in welchem der einmal gebrochene Strahl EF die Sehaxe schneidet, gleich y. Man findet leicht mit hinreichender Genauigkeit, indem sich die Grössen n, r, a wie vorhin auf die Vorderfläche der Linse beziehen,

$$y = r \left\{ \frac{n}{n - 1 - \frac{r}{a}} \frac{\sin \varphi}{\varphi} + 1 - \cos \varphi \right\}$$

Diese Formel stellt für ein Medium mit konvexer Vorderfläche den Fall dar, wo der Konvergenzpunkt F nicht rechts, sondern links von D fällt, sowie man das Zeichen von y umkehrt und nun die positiven y links von D misst. Dieselbe Formel gilt sofort für ein Medium mit konkaver Vorderfläche, wenn man die Zeichen von a und y umkehrt, indem die positiven y alsdann links von D gemessen werden. Sie gilt ferner für ein Medium von schwächerer Brechbarkeit (jedoch mit konvexer Vorderfläche), als das davor liegende, wenn man n in $\frac{1}{n}$ verwandelt und das Zeichen von y umkehrt, indem alsdann ebenfalls die positiven Werthe von y nach links gemessen werden. Soll gleichzeitig die Vorderfläche konkav und das Medium schwächer brechend als das vordere werden; so ist n in $\frac{1}{n}$ zu verwandeln, ferner das Zeichen von a umzukehren, endlich das Zeichen von y zweimal umzukehren, also ungeändert zu lassen, wenn die positiven y links liegen sollen, dagegen einmal umzukehren, sobald die positiven y rechts liegen bleiben sollen. Endlich wird diese Formel für den Fall brauchbar, dass der einfallende Strahl gegen die Axe AD konvergirt, also a rechts von D liegt, wenn man das Zeichen von a umkehrt.

Wird der Strahl jetzt an der Hinterwand der Linse zum zweiten Male gebrochen und ist r' der Radius dieser Hinterwand, φ' der Zentrumswinkel für die Öffnung in dieser Wand, n' das Brechungsverhältniss für den Übergang eines Strahles aus dem hinteren Medium in die Linse, c die Dicke DG der Linse, endlich $y' = GF'$ der Abstand des Konvergenzpunktes F' rechts von der Hinterfläche der Linse; so hat man sehr nahe

$$r'\varphi' = r\varphi \left[1 - \frac{\left(n - 1 - \frac{r}{a}\right) c}{n r} \right] \text{ oder } \varphi' = \frac{r\varphi}{r'} \left[1 - \frac{\left(n - 1 - \frac{r}{a}\right) c}{n r} \right]$$

und mit Hülfe dieses Werthes von φ'

$$y' = r' \left\{ \frac{1}{n' - 1 + \frac{n' r'}{y - c}} \frac{\sin \varphi'}{\varphi'} - 1 + \cos \varphi' \right\}$$

Hierin ist für y der vorhergehende Werth zu setzen. Für Zentralstrahlen oder $\varphi = 0$ wird

$$y_0' = \frac{r'}{n' - 1 + \frac{n' r' \left(n - 1 - \frac{r}{a}\right)}{n r - c \left(n - 1 - \frac{r}{a}\right)}}$$

Für eine unendliche Sehweite oder parallele Strahlen wird die Brennweite des vereinfachten Auges

$$y_0' = \frac{r'}{n' - 1 + \frac{(n - 1) n' r'}{n r - (n - 1) c}}$$

Nehmen wir jetzt die einem Auge nahezu entsprechenden Werthe $r = 8$, $r' = 5$, $c = 7$ Millimeter, $n = 1{,}4$, $n' = \frac{1{,}4}{1{,}3} = 1{,}08$; so ergiebt sich aus der letzten Formel für parallele Strahlen die Brennweite $y_0' = 15$ Mm., welche dem wirklichen Auge sehr nahe entspricht.

Für die mittlere Sehweite von $a = 250$ Mm. ergiebt die vorhergehende Formel die Entfernung $y' = 16$ Mm.

Die Akkommodation eines solchen Auges von der unendlichen auf die mittlere Sehweite erfordert also nur eine Verlängerung der Augenaxe um 1 Millimeter, selbst wenn alle Krümmungen und Dichtigkeiten der brechenden Medien dieselben blieben. Das vorhin besprocheno reduzirte Auge, welches aus einem einzigen Medium bestehend gedacht wird, erforderte zu diesem Zwecke eine $1^1/_2$ mal so grosse Verlängerung. Hieraus geht hervor, dass jene Reduktion bei den feineren Untersuchungen über das Auge nicht ganz geeignet ist, die wahren Verhältnisse ans Licht zu stellen und dass das zuletzt betrachtete vereinfachte Auge dazu besser befähigt ist. Noch mehr stellt sich Diess durch die folgenden Untersuchungen über die Aberration heraus.

Bei einer Öffnung der Pupille von 4 Millimeter oder $\varphi = 14^1/_2{}^0$ wird für eine unendliche Sehweite die Brennweite der Randstrahlen $y' = 14{,}3$ Mm. Dieselbe ist um 0,7 Mm. kleiner als die Brennweite der Zentralstrahlen, welche 15 Mm. betrug.

Bei derselben Öffnung der Pupille liegt für die mittlere Sehweite von 250 Mm. der Konvergenzpunkt der Randstrahlen in der Entfernung $y' = 13{,}4$ Mm., also ebenfalls vor dem der Zentralstrahlen und zwar um 2,7 Mm., indem die letztere Entfernung 16,1 Mm. betrug.

Ich bemerke noch, dass für $a = 0$ der Brennpunkt der Zentralstrahlen in der Entfernung $y' = -7{,}24$ Mm. liegt. Die von einem unmittelbar vor der Linse liegenden Punkte ausgehenden Strahlen divergiren also im Glaskörper.

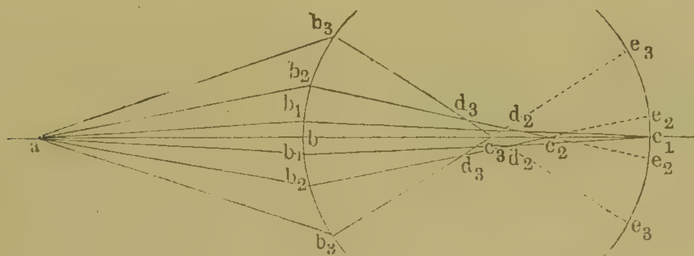
Damit die Zentralstrahlen im Glaskörper parallel laufen, also $f' = \infty$ wird, muss

$$\frac{r}{a} = n - 1 + \frac{n(n' - 1)r}{n' r' - (n' - 1)c}$$

sein. Diess findet statt, wenn der leuchtende Punkt in der Entfernung $= 13{,}7$ Mm. vor der Linse liegt.

4. Die Konkurrenz der Randstrahlen mit den Zentralstrahlen. — Brennfläche. Bei den optischen Untersuchungen über Strahlenbündel, welche von einem Punkte der Sehaxe ausgehen, ist man gewohnt, immer nur die Vereinigungspunkte solcher Strahlen zu untersuchen, welche gleichen Winkelabstand von der Axe haben, also den Konvergenzpunkt c_1 der Strahlen ab_1, ab_1 (Fig. 56) alsdann den Konvergenzpunkt c_2 der

Fig. 56.



Strahlen ab_2, ab_2, dann den Konvergenzpunkt c_3 der Strahlen ab_3, ab_3 u. s. w.

Wenn das Auge nicht gehörig akkommodirt ist, fallen die Konvergenzpunkte c_1, c_2, c_3 nicht zusammen, sondern bilden eine in der Augenaxe liegende gerade Linie $c_1 c_3$, deren entferntester Punkt c_1 bei ungenügend starker Akkommodation den Zentralstrahlen und deren nächster Punkt c_3 den Randstrahlen entspricht. Während also bei genauer Akkommodation oder in einem vollkommen aplanatischen Auge sich der leuchtende Objektpunkt a auf einen leuchtenden Bildpunkt reduziren sollte, dehnt sich Letzterer in Folge der sphärischen Aberration in eine in das Auge sich erstreckende leuchtende Linie $c_1 c_3$ aus, welche mit ihren Strahlen $c_2 e_2$, $c_3 e_3$ den Zerstreuungskreis $e_3 c_1 e_3$ deckt.

Diese Vereinigungsweise der einfachen Strahlen des Bündels $ab_3 b_3$ ist jedoch nicht ganz naturgemäss. Das Charakteristische für die Zusammengehörigkeit der Elementarstrahlen eines Bündels, welches den physiologischen Eindruck des Ursprungs aus demselben leuchtenden Punkte hervorbringen soll, liegt nicht in der Gleichheit des Winkelabstandes von der Axe dieses Bündels. Ein solches Bündel braucht, um jenen Eindruck hervorzubringen, keineswegs voll als symmetrisch zu sein: auch eine nicht kreisförmige Pupille würde an die Stelle der Öffnung $b_3 b_3$ gesetzt werden können.

Die Zusammengehörigkeit bedingt ein Fortschreiten der Lichtvibrationen in zusammenhängenden konzentrischen Schalenwellen und in

einer solchen Wellenoberfläche gehören diejenigen Elemente zusammen, welche wirklich zusammenliegen.

Es sind also naturgemäss die Konvergenzpunkte der unendlich benachbarten Strahlen zu untersuchen. Diess giebt den Konvergenzpunkt c_1 für die Strahlen ab, ab_1, dann den Punkt d_2 für die Strahlen ab_1, ab_2, dann den Punkt d_3 für die Strahlen ab_2, ab_3 u. s. w. In Wahrheit dehnt sich also in Folge der Aberration der Punkt c_1 nicht in eine Linie $c_1 c_3$, sondern in eine leuchtende Fläche aus, welche sich von c_1 in das Auge erstreckt, indem sie bei c_1 eine zur Sehaxe tangentiale Spitze bildet, die von hieraus nach dem Mittelpunkte des Auges hin sich erweitert und durch Umwälzung der Kurve $c_1 d_2 d_3$ um die Axe $c_1 b$ erhalten wird. Diese Fläche ist die Brennfläche des Linsensystems für die Sehweite ab.

Wir werden später sehen, dass diese Wirkung der Aberration für manche Erscheinungen (insbesondere für die Strahlensterne) von Bedeutung ist.

5. Formeln für die Brennfläche geneigter Strahlenbündel. Wenn der Objektpunkt a (Fig. 57) nicht in der Augenaxe liegt, so werden die obersten Randstrahlen ab_3c_3 von oben gesehen einen konvexen und die unteren Randstrahlen ab_5c_5 einen konkaven Linienzug darstellen. Gegen die Mitte hin wird man von oben her auf einen Strahl ab_2c_2 stossen, welcher nur bei c_2 eine Ecke bildet, während ab_2 und b_2c_2 in derselben nach dem Mittelpunkte der Vorderfläche b_3b_5 der Linse gerichteten geraden Linie liegen. Ebenso wird man von unten her auf einen Strahl ab_4c_4 stossen, welcher nur bei b_4 gebrochen ist, indem die beiden hinteren Theile nach dem Mittelpunkte der Hinterfläche der Linse konvergiren. Die zwischen diesen beiden Strahlen liegenden Zentralstrahlen ab_1c_1 sind in ihrem vorderen Theile konkav und in dem hinteren konvex.

Fig. 57.

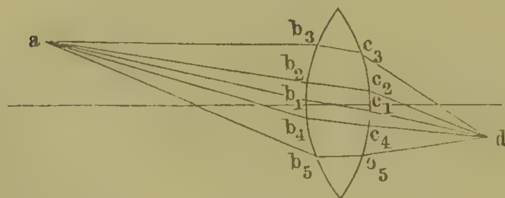
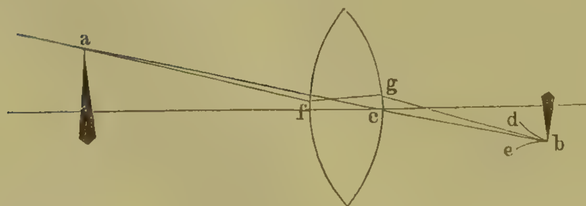


Fig. 58.



Es fragt sich jetzt, was ein Zentralstrahl und was ein Hauptstrahl für das von a ausgehende Bündel sei.

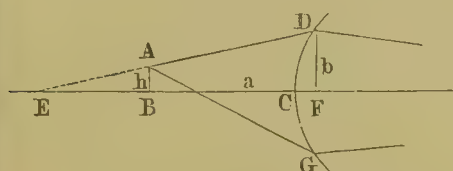
Konstruirt man nach vorstehender Nummer die Brennfläche für den Punkt a, also den Ort, in welchem die benachbarten Strahlen des erwähnten Bündels sich schneiden; so erhält man die Figur dbe (Fig. 58). Der Zentralstrahl ist der Strahl $afgb$, welcher von a in die Spitze b

der Brennfläche führt: der **Hauptstrahl** jedoch ist nach der gewöhnlichen Definition die ideelle **gerade Linie** ab, welche die beiden Punkte a und b verbindet.

Der **Kreuzungspunkt** ist der Punkt c, in welchem die Hauptstrahlen die Sehaxe durchschneiden. Dieser Punkt variirt für die verschiedenen möglichen Lagen des Objektpunktes a nur wenig: allein als absolut gleich für alle Hauptstrahlen kann derselbe doch nicht angesehen werden.

Um die Spitze b der Brennfläche zu bestimmen, muss man den Weg irgend eines von a ausgehenden Strahles verfolgen. Nehmen wir den Strahl AD (Fig. 59), welcher dadurch bestimmt ist, dass der Abstand FD von der Sehaxe, in welcher derselbe die Linse trifft, $= b = r \sin\varphi$ gesetzt wird. Bezeichnet jetzt a die Entfernung BC und h den Abstand AB des Punktes von der Sehaxe; so nimmt der Strahl AD denselben Weg wie ein Strahl, welcher von dem Punkte E der Sehaxe ausgeht. Für diesen Punkt E ist mit hinreichender Genauigkeit die Sehweite

Fig. 59.



$$EC = a_1 = \frac{a r \sin\varphi}{r \sin\varphi - h} = \text{nahezu } \frac{a r \varphi}{r\varphi - h}$$

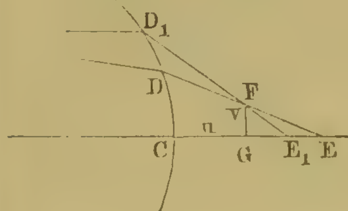
Für einen Strahl AG, welcher die Linse **unterhalb** der Sehaxe trifft, wird in dieser Formel der Winkel φ negativ; sonst gilt dieselbe ganz allgemein.

Substituirt man diesen Werth von a_1 für a in die obige Formel für y aus Nr. 3, so erhält man die Entfernung von der Vorderfläche der Linse, in welcher der zum ersten Male gebrochene Strahl die Sehaxe schneidet. Mit Hülfe dieses Werthes von y liefert hierauf die obige Formel für y' die Entfernung von der Hinterfläche der Linse, in welcher der zum zweiten Male an der Hinterfläche der Linse gebrochene Strahl die Sehaxe trifft. Hiernach ist

$$y = r \left\{ \frac{n}{n - 1 - \frac{r}{a} + \frac{h}{a\varphi}} \cdot \frac{\sin\varphi}{\varphi} + 1 - \cos\varphi \right\}$$

$$y' = r' \left\{ \frac{1}{n' - 1 + \frac{n' r'}{y - c}} \cdot \frac{\sin\varphi'}{\varphi'} - 1 + \cos\varphi' \right\}$$

Fig. 60.



Ist nun DE (Fig. 60) der eben bezeichnete Strahl, für welchen man an der Vorderfläche der Linse den Winkel φ und an der Hinterfläche der Linse $CD = r'\varphi'$ und $CE = y'$ hat, und ist ferner $D_1 E_1$ irgend ein anderer, von demselben Objektpunkte ausgehender Strahl, für welchen an der Vorderfläche $\varphi = \varphi_1$

und an der Hinterfläche $CD_1 = r'\varphi'_1$ und $CE_1 = y'_1$ ist, so seien $CG = u$ und $GF = v$ die Koordinaten des gemeinschaftlichen Durchschnittspunktes F dieser beiden Strahlen. Für diese Koordinaten findet man leicht die Werthe

$$u = \frac{y'y'_1\,(\sin\varphi'_1 - \sin\varphi')}{y'\sin\varphi'_1 - y'_1\sin\varphi'} = \text{nahezu } \frac{y'y'_1\,(\varphi'_1 - \varphi')}{y'\varphi'_1 - y'_1\varphi'}$$

$$v = \frac{r\,(y' - y'_1)\,\sin\varphi'\sin\varphi_1'}{y'\sin\varphi'_1 - y'_1\sin\varphi'} = \text{nahezu } \frac{r\varphi'\varphi'_1\,(y' - y'_1)}{y'\varphi'_1 - y'_1\varphi'}$$

In diesen und den beiden vorhergehenden Formeln ist

$$\varphi' = \frac{\left[nr - \left(n - 1 - \frac{r}{a}\right)c\right]\varphi - \frac{h}{a}c}{nr'}$$

$$\varphi'_1 = \frac{\left[nr - \left(n - 1 - \frac{r}{a}\right)c\right]\varphi_1 - \frac{h}{a}c}{nr'}$$

Wenn $\varphi_1 = \varphi + d\varphi$ ein Winkel ist, welcher nur unendlich wenig von φ verschieden ist; so stellt F den Durchschnitt zweier benachbarten Strahlen dar. Der Ort aller dieser Durchschnittspunkte ist die Brennfläche. Für die äusserste Spitze dieser Brennfläche oder für den Zentralstrahl muss offenbar die Abszisse u ein Maximum, also $\frac{du}{d\varphi} = 0$ werden.

6. Abkürzung der vorstehenden Formeln. Wir setzen die Ausführung dieser Rechnung vorläufig noch aus und wollen versuchen, einige wesentliche Gesetze durch einfachere Formeln zu entwickeln.

Ein in das Auge fallender Strahl neige sich unter dem Winkel α gegen die Sehaxe und treffe die Vorderfläche der Linse in dem Bogenabstande $r\varphi$ von dieser Axe. Untersuchen wir den Durchgang dieses Strahles durch die Linse und den Glaskörper.

Nach der ersten Brechung nimmt dieser Strahl gegen die Sehaxe die Neigung α' an, wofür man genau $n\sin(\varphi - \alpha') = \sin(\varphi - \alpha)$, also nahezu $n(\varphi - \alpha') = \varphi - \alpha$ oder

$$\alpha' = \frac{\alpha + (n - 1)\,\varphi}{n}$$

hat. Während derselbe die Vorderfläche der Linse im Abstande $b = r\varphi$ über der Axe schneidet, wird derselbe die Hinterfläche in einem Abstande $b' = r'\varphi'$ unter der Axe schneiden, welche durch die Formel $r\sin\varphi + r'\sin\varphi' = c\tan g\,\alpha'$ oder nahezu durch $r\varphi + r'\varphi' = c\alpha'$ bestimmt ist, für welchen man also vermöge des vorstehenden Werthes von α'

$$b' = \frac{c\alpha - [nr - (n - 1)\,c]\,\varphi}{n}$$

$$\varphi' = \frac{c\alpha - [nr - (n - 1)\,c]\,\varphi}{nr'}$$

at. Würde die Hinterfläche oberhalb der Axe getroffen, so nähmen und φ' negative Werthe an.

Für den Neigungswinkel α'' des zum zweiten Male gebrochenen, also es in den Glaskörper eintretenden Strahles hat man $sin\ (\varphi' - \alpha'')$ = $n' sin\ (\varphi' - \alpha'')$ oder nahezu $\varphi' - \alpha'' = n'\ (\varphi' - \alpha'')$, mithin

$$\alpha'' = \frac{1}{n}\left[n' - (n' - 1)\frac{c}{r'}\right]\alpha$$
$$+ \frac{1}{n}\left[n'\ (n - 1) + (n' - 1)\frac{n\,r - (n - 1)\,c}{r'}\right]\varphi$$

Nach Vorstehendem haben b' und α'' die Form

$$b' = A\alpha - B\varphi$$
$$\alpha'' = C\alpha + D\varphi$$

Betrachten wir jetzt einen zweiten Strahl, welcher vor dem Eintritte das Auge mit dem vorstehenden parallel läuft, für welchen also α denlben Werth behält, welcher aber die Vorderfläche der Linse in einem nderen Winkelabstande φ_1 trifft, so wird für diesen zweiten Strahl

$$b'_1 = A\alpha - B\varphi_1$$
$$\alpha_1'' = C\alpha + D\varphi_1$$

in.

Bezeichnet man jetzt mit u die vom Pole der Hinterfläche der inse gemessene Abszisse und mit v die Ordinate des Durchschnittspunks dieser beiden parallelen Strahlen; so findet man allgemein nahezu

$$u = \frac{b' - b'_1}{\alpha_1'' - \alpha''}, \qquad v = \frac{b'\alpha_1'' - b_1'\alpha''}{\alpha_1'' - \alpha''}$$

Substituirt man hierin die vorstehenden Werthe; so kömmt

$$u = \frac{B}{D} = \frac{n r - (n - 1)\,c}{n'\ (n - 1) + (n' - 1)\dfrac{n\,r - (n - 1)\,c}{r'}}$$

$$v = \frac{AD + BC}{D}\alpha = \frac{n' r \alpha}{n'\ (n - 1) + (n' - 1)\dfrac{n\,r - (n - 1)\,c}{r'}}$$

7. Resultat der vorstehenden Formeln. — Hauptstrahlen. — reuzungspunkt. Die letzten beiden Formeln geben zu folgenden merkungen Veranlassung. Die beiden parallelen Strahlen entsprechen n Strahlen eines unendlich entfernten Punktes, welcher in der unter m Winkel α gegen die Sehaxe geneigten Richtung liegt. u und v sind e Koordinaten des Brennpunktes zweier solchen Strahlen. Beide Koornaten zeigen sich unabhängig vom Winkel φ, also von der Stelle, wo auf die Vorderfläche der Linse treffen. Parallele Strahlen von gend einer Richtung konvergiren also im Glaskörper nach mselben Punkte.

Die parallel zur Sehaxe gemessene Abszisse u dieses Brennpunktes aber auch von α, also von der Richtung des parallelen Strahlenbünls unabhängig. (Der Werth von u stimmt genau mit dem obigen

Werthe von y_0' überein, welcher dem Brennpunkte der von einem unendlich entfernten Punkte der Sehaxe herkommenden Zentralstrahlen entspricht.) Die Brennpunkte aller parallelen Strahlenbündel liegen also in einer auf der Sehaxe normal stehenden Ebene.

Die normal zu dieser Axe gemessene Ordinate v wächst in direktem Verhältnisse mit dem Neigungswinkel α des parallelen Strahlenbündels.

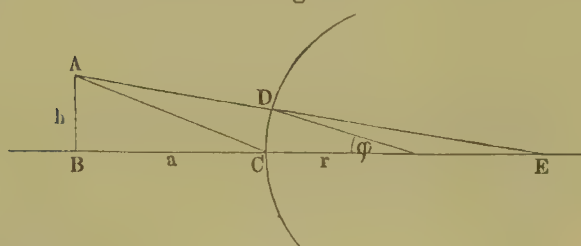
Zieht man von dem Brennpunkte eines parallelen Strahlenbündels eine Parallele zu der Richtung dieses Bündels (also eine Linie nach dem unendlich entfernten Objekte); so stellt diese Linie einen sogenannten Hauptstrahl dar. Ist k die Entfernung von der Hinterfläche der Linse, in welcher dieser Hauptstrahl die Sehaxe schneidet; so hat man

$$k = u - \frac{v}{\alpha} = \frac{(n - n')r - (n - 1)c}{n'(n - 1) + (n' - 1)\frac{nr - (n - 1)c}{r'}}$$

Diese Entfernung ist von der Neigung α des Strahlenbündels unabhängig. Die Hauptstrahlen aller parallelen Strahlenbündel von den verschiedensten Neigungen durchschneiden sich also in demselben Punkte der Sehaxe und dieser Punkt ist der **Kreuzungspunkt.**

Selbstverständlich gelten alle diese Resultate nur als Näherungsresultate oder für keine zu grossen Werthe von α und φ. Je grösser der eine oder andere dieser Winkel wird, desto mehr tritt Aberration ein und es verwandelt sich der Brennpunkt in eine Brennfläche.

Fig. 61.



Jetzt wollen wir noch den Brennpunkt zweier Strahlen AC, AD (Fig. 61) bestimmen, welche von einem ausserhalb der Augenaxe liegenden Punkte A ausgehen. Für diesen Punkt sei $BC = a$ und $AB = h$. Der nach dem Mittelpunkte der Pupille gehende Strahl AC bilde den Winkel $ACB = \alpha$, welcher klein genug vorausgesetzt wird, um angenähert $\alpha = \frac{h}{a}$ setzen zu können. AD sei ein benachbarter Strahl, für welchen $CD = r\varphi$ und demnach der Neigungswinkel $AEC = \beta = \frac{h - r\varphi}{a}$ ist.

Für den ersten Strahl hat man nach den obigen Formeln, indem man $\alpha = \alpha$, $\varphi = 0$ setzt,

$$b' = A\alpha \qquad \alpha'' = C\alpha$$

Für den zweiten Strahl hat man, indem man $\alpha = \beta = \frac{h - r\varphi}{a}$, $\varphi = \varphi$ setzt,

$$b_1' = A\,\frac{h - r\varphi}{a} - B\varphi$$

$$\alpha_1'' = C\,\frac{h - r\varphi}{a} + D\varphi$$

Die Koordinaten des gemeinschaftlichen Durchschnitts- oder Brenn-
nnktes werden hiernach

$$u = \frac{A\,\frac{r}{a} + B}{-\,C\,\frac{r}{a} + D}$$

$$v = \frac{(AD + BC)\,\frac{h}{a}}{-\,C\,\frac{r}{a} + D}$$

nd für den Abstand des Kreuzungspunktes, d. h. desjenigen Punk-
-s, in welchem die vom Objekte nach dem Bilde gezogene gerade
inie die Sehaxe durchschneidet, von der Hinterfläche der Linse wird
$= u - \frac{a}{h}\,v$, also

$$k = \frac{A\,\frac{r}{a} + B - AD - BC}{-\,C\,\frac{r}{a} + D}$$

Aus der letzten Formel ergiebt sich der wichtige Schluss, dass der
reuzungspunkt keineswegs eine unverrückbare Lage im Auge
it. Derselbe ändert seine Lage mit der parallel zur Augenaxe
emessenen Entfernung a des Objektes, ist aber von h un-
bhängig, also für alle Punkte der in dieser Entfernung er-
chteten Normalebene BA konstant.

Für eine unendliche Entfernung a, also für ein in der Richtung
C ankommendes paralleles Strahlenbündel wird k wie vorhin

$$k = \frac{B - AD - BC}{D}$$

nd der Kreuzungspunkt hat die nächstmögliche Lage hinter
er Linse. Wenn die Entfernung a kleiner wird, entfernt sich der
reuzungspunkt von der Linse immer mehr. Für die Entfernung

$$a = \frac{C}{D}\,r = \frac{\left[n' - (n' - 1)\,\frac{c}{r'}\right] r}{n'\,(n - 1) + (n' - 1)\,\frac{n\,r - (n - 1)\,c}{r'}}$$

es Objektes rückt der Kreuzungspunkt sogar unendlich weit von der
inse fort, indem die Strahlen im Glaskörper parallel werden. Für noch
leinere Werthe von a fällt der Kreuzungspunkt vor die Linse: es ent-

steht alsdann kein wirkliches Bild mehr, sondern die jenseit der Linse divergirenden Strahlen entsprechen einem vor der Linse liegenden virtuellen Bilde.

8. **Anwendung auf das Auge.** Zur Anwendung auf unser vereinfachtes Auge haben wir $r = 8$, $r' = 5$, $c = 7$, $n = 1{,}4$, $n' = 1.08$ also

$$A = \frac{c}{n} = 5$$

$$B = \frac{nr - (n-1)c}{n} = 6$$

$$C = \frac{n' - (n'-1)\frac{c}{r'}}{n} = 0{,}691$$

$$D = \frac{1}{n}\left[n'(n-1) + (n'-1)\frac{nr - (n-1)c}{r'}\right] = 0{,}404$$

$$u = \frac{40 + 6a}{-5{,}528 + 0{,}404a}$$

$$v = \frac{6{,}166h}{-5{,}528 + 0{,}404a}$$

$$k = \frac{40 - 0{,}166a}{-5{,}528 + 0{,}404a}$$

Für eine unendliche Entfernung a des Objektes wird $k = -0{,}41$. Der Kreuzungspunkt für parallele Strahlenbündel oder für eine unendliche Sehweite liegt also in unserem vereinfachten Auge nicht hinter, sondern in der Linse und zwar in dem Abstande 0,41 Millimeter vor der Hinterfläche.

Für die mittlere Sehweite von $a = 250$ Mm. wird $k = -0{,}016$ Mm. und für eine halbso grosse Sehweite von $a = 125$ Mm. wird $k = 0{,}43$ Mm. Bei der Variation der Sehweite vom Unendlichen bis zu etwa 4 Zoll verrückt sich also der Kreuzungspunkt um $^4/_5$ Mm. und zwar aus dem Abstande von 0,41 Mm. vor der Hinterfläche der Linse in den Abstand von 0,43 Mm. hinter die Linse. Für die mittlere Sehweite liegt der Kreuzungspunkt fast genau in der Hinterfläche der Linse.

Es ist ferner wichtig, darauf aufmerksam zu machen, dass der Kreuzungspunkt seine Stelle mit der Wölbung und Dichtigkeit der Linse ändert. Man erkennt leicht, dass wenn die Wölbung oder die Dichtigkeit der Linse sich verstärkt oder die Dichtigkeit des Glaskörpers abnimmt, die Grösse k abnimmt, also der Kreuzungspunkt weiter nach vorn rückt, wogegen eine schwächere Wölbung der Linse oder eine Verminderung ihrer Dichtigkeit oder eine Vermehrung der Dichtigkeit des Glaskörpers den Kreuzungspunkt zurückschiebt.

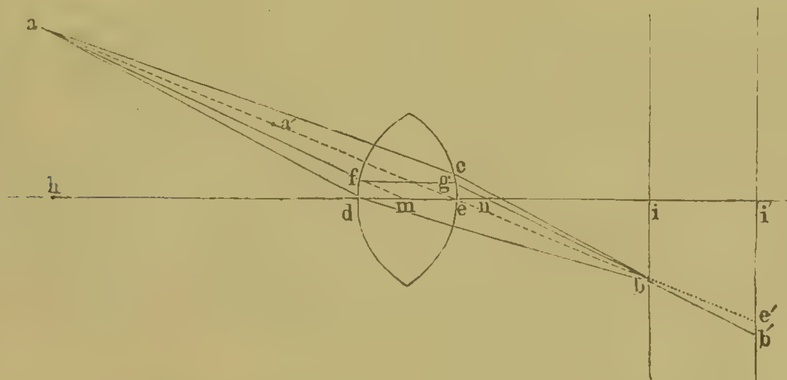
Da nun mit der Vergrösserung der Sehweite a eine Abflachung

und Verdünnung der Linse verbunden ist; so wird der von der Veränderung der Sehweite herrührende Effekt in Beziehung auf die Lage des Kreuzungspunktes durch die Akkommodation des Auges wieder aufgehoben. Man kann also annehmen, dass für alle Sehweiten der Kreuzungspunkt seine Lage in der Hinterfläche der Linse beibehält.

9. Eigenschaften der Hauptstrahlen. — Knotenpunkte. Die in den vorstehenden Nummern betrachteten Hauptstrahlen nach der gewöhnlichen Definition sind ideelle Linien und der Kreuzungspunkt dieser Strahlen mit der Sehaxe ist ein ideeller Punkt, welcher nur bei näherungsweiser Betrachtung der optischen Gesetze des Auges eine Bedeutung hat. Bei schärferer Auffassung verlieren diese Grössen ihre Bedeutsamkeit und es treten ganz andere dafür an die Stelle.

Wenn nämlich aeb der das Objekt a und das Bild b verbindende ideelle Hauptstrahl und e der Kreuzungspunkt ist, Fig. 62, so würde man sich irren, wenn man glaubte, die Linie $aebe'$ besässe die Eigenschaft,

Fig. 62.



die Mittelpunkte der Zerstreuungskreise zu verbinden, welche sich bilden, wenn man die von a ausgehenden Strahlenbündel in verschiedenen Entfernungen durch Schirme wie $i'b'$ auffinge. Diese Mittelpunkte rücken in einer ganz anderen Richtung bb' weiter: die Linie ee' ist also nicht die Axe eines wirklichen Hauptbündels.

Ebenso würde es ein Irrthum sein, anzunehmen, alle in der Linie ae liegenden äusseren Objekte würfen ihr Bild in irgend einen Punkt der Fortsetzung ee', oder ihre Bilder deckten sich auf der Netzhaut. Auch Diess ist nicht der Fall: die Bilder der verschiedenen Punkte von ae liegen in einer anderen Linie als be', auch fällt auf dem Schirme ib der Mittelpunkt des Zerstreuungskreises, welcher daselbst das Bild von a' bildet, nicht in b, sondern darunter. Die Linie $aa'e$ projizirt sich also nicht als Punkt, sondern als Linie auf die Netzhaut.

Nur näherungsweise findet Vorstehendes statt, und zwar umso genauer, je entfernter der Punkt a oder das Stück aa' der Linie ac vom Auge liegt. Je näher der Punkt a heranrückt, desto grösser werden die Abweichungen und für dicht vor dem Auge liegende Objekte können sie erheblich werden.

Hiernach ist es ebenso wohl von theoretischem wie von praktischem Interesse, die hier in Frage kommenden Gesetze scharf aufzufassen.

Wenn *acb* derjenige von *a* ausgehende Strahl ist, dessen äusseres Stück *ac* nach dem Krümmungsmittelpunkte der Vorderfläche der Linse gerichtet ist, also diese Fläche ohne Ablenkung durchdringt, wenn ferner *adb* der Strahl ist, dessen inneres Stück *bd* nach dem Krümmungsmittelpunkte der Hinterfläche der Linse zeigt, also diese Fläche ohne Ablenkung passirt; so liegt zwischen diesen beiden Strahlen ein Strahl *afgb*, dessen inneres Stück *gb* dem äusseren Stücke *af* parallel ist. Dieser Strahl ist es, welchen man bei schärferer Unterscheidung den Hauptstrahl des von *a* ausgehenden Strahlenbündels nennt. Ob und wie weit die Auszeichnung dieses Strahles in der Natur der Dinge begründet liegt, werden wir weiter unten in Nr. 17 näher untersuchen. Für jetzt wollen wir bei der gebräuchlichen Auffassung stehen bleiben und den eben definirten Hauptstrahl rechnungsmässig bestimmen.

Was zunächst die Bilder der Punkte der in der Linie *af* liegenden Punkte betrifft; so hängt die Richtung des von irgend einem Punkte *a* ausgehenden Strahles *af*, welcher die Eigenschaft hat, dass sein innerer Theil *gb* ihm parallel bleibt, offenbar nicht von der Entfernung des Punktes ab. Für jeden Punkt der Linie *af* ist diese Linie die Richtung des wirklichen Hauptstrahles. Daraus folgt, dass die Bilder der Zentralstrahlen aller Punkte, welche im äusseren Zuge *af* eines wirklichen Hauptstrahles liegen, in dem Zuge *gb* des zugehörigen inneren Theiles dieses Strahles liegen, dass also die Bilder aller Punkte der Linie *af* oder die Mittelpunkte ihrer Zerstreuungskreise, wenn dieselben auf einem Schirme *ib* oder *i'b'* aufgefangen werden, sich decken. Dieser Satz ist nur an die Voraussetzung geknüpft, dass der Hauptstrahl die Richtung bezeichne, welche in den Mittelpunkt des Bildes *b* irgend eines in der Linie *af* liegenden Punktes *a* führt.

Zur Bestimmung der Richtung der Hauptstrahlen setzen wir den Werth von α'' aus Nr. 6 gleich α. Diess giebt zunächst

$$\varphi = \frac{(n - n') r' + (n' - 1) c}{n' (n - 1) r' + (n' - 1) [n r - (n - 1) c]} \cdot \alpha$$

und durch Substitution in φ'

$$\varphi' = - \frac{(n - n') r - (n - 1) c}{n' (n - 1) r' + (n' - 1) [n r - (n - 1) c]} \cdot \alpha$$

Setzt man jetzt den Abstand des Punktes *m*, in welchem die Richtung *af* die Sehaxe trifft, von der Vorderfläche der Linse gleich $\varkappa$ und den Abstand des Punktes *n*, in welchem die Richtung *bg* die Sehaxe trifft, von der Hinterfläche der Linse gleich $\varkappa'$; so ist für nicht zu grosse Werthe von α hinreichend genau

$$\varkappa = \frac{r \varphi}{\alpha} \quad \text{und} \quad \varkappa' = - \frac{r' \varphi'}{\alpha}$$

also nach vorstehenden Werthen von φ und φ'

$$\varkappa = \frac{(n - n') r' + (n' - 1) c}{n' (n - 1) r' + (n' - 1) [n r - (n - 1) c]} \cdot r$$

$$\varkappa' = \frac{(n - n') r - (n - 1) c}{n' (n - 1) r' + (n' - 1) [n r - (n - 1) c]} \cdot r'$$

Es ist von besonderer Wichtigkeit, dass die Werthe von $\varkappa$ und $\varkappa'$ von der Grösse des Winkels α ganz unabhängig sind. Hieraus folgt nämlich, dass die äusseren Theile af aller Hauptstrahlen nach einem festen Punkte m und die inneren Theile gb derselben nach einem festen Punkte n konvergiren. Der erste Punkt heisst nach Listing der vordere, der zweite Punkt dagegen der hintere Knotenpunkt.

Für unser aus zwei Medien bestehendes, vereinfachtes Auge erhält man

$$\varkappa = 6{,}1 \text{ Mm.} \qquad \varkappa' = -\,0{,}42 \text{ Mm.}$$

Beide Knotenpunkte liegen also in der Nähe der Hinterfläche der Linse. Der vordere liegt in der Linse und steht $c - \varkappa = 0{,}9$ Mm. von der Hinterfläche ab. Der zweite liegt ausserhalb der Linse im Glaskörper in der Entfernung von 0,42 Mm. von der Hinterfläche der Linse.

In dem aus drei brechenden Medien bestehenden Auge ändern sich diese Dimensionen etwas, jedoch nur wenig. Die Nähe des Poles der Hinterfläche der Linse bleibt immer der Ort der beiden Knotenpunkte. Nach Listing sollen dieselben in einem solchen Auge beide innerhalb der Linse in der Nähe der Hinterfläche liegen. Da jedoch das wirkliche Auge, welches eine Linse aus vielen Schalen von verschiedener Form und Dichtigkeit besitzt, immer noch so wesentlich von einem aus drei homogenen brechenden Medien konstruirten Auge abweicht, dass, wenn es sich um eine scharfe Bestimmung der absoluten Lage der wirklichen Knotenpunkte handelte, auch das letztere Auge nur ein angenähertes Resultat geben kann; so werden wir den Versuch einer genaueren rechnungsmässigen Bestimmung der wahren Knotenpunkte im wirklichen Auge auf sich beruhen lassen können.

In Verbindung mit den Gaussschen Hauptpunkten lassen sich diese Knotenpunkte auch benutzen, um den Abstand oder den Ort des Bildes b geometrisch zu bestimmen. So einfach diese Konstruktion auch ist, so glaube ich doch das darauf gerichtete Verfahren, insbesondere die analytische Bestimmung der Hauptpunkte hier übergehen zu können, da dieses Verfahren mehr ein rein wissenschaftliches Interesse für die mathematische Optik, als ein praktisches Interesse für die physiologische Optik hat. Denn einmal setzt die Anwendung jenes Verfahrens einen konstanten Zustand des Auges (unveränderliche Fokallängen) voraus, lässt also den so wesentlichen Einfluss der Akkommodation nicht erkennen oder erfordert für jeden Akkommodationszustand eine besondere und umständliche Bestimmung der Fokallängen, sowie der Haupt- und Knotenpunkte. Ausserdem ist das ganze Verfahren nur unter der Voraussetzung anwendbar, dass man die Aberration ganz vernachlässige, eignet sich also nur für die einfacheren und Fundamentalgesetze des Auges. Die schwieriger zu deutenden Erscheinungen liegen theils in der Veränderlichkeit des Auges, theils in den sphärischen und chromatischen Aberrationen: hierzu bedarf es genauerer For-

meln; wir werden daher in den späteren Betrachtungen besonders den Gesichtspunkt der schärferen Bestimmung der Abweichungen vor Augen behalten und bemerken jetzt über die Knotenpunkte nur noch Folgendes.

Das Netzhautbild ist, vom hinteren Knotenpunkte betrachtet, dem Gesichtsfelde, vom vorderen Knotenpunkte aus betrachtet, in allen Winkeln gleich, also geometrisch ähnlich und demzufolge geeignet, eine richtige Vorstellung von dem Gesichtsfelde zu erwecken. Der hintere Knotenpunkt oder nahezu der hintere Pol der Linse ist hiernach der rationelle Mittelpunkt der Kugelfläche, welche die Netzhaut bildet.

Dass die beiden Knotenpunkte nahe zusammenliegen lehrt, dass die Hauptstrahlen nur eine geringe Ablenkung durch Brechung erfahren. Diess ist wichtig: denn es folgt daraus, dass diese Strahlen bei der Brechung auch nur einen geringen Intensitätsverlust durch Reflexion an den brechenden Flächen erleiden können, welcher für die übrigen Strahlen desselben Bündels umso bedeutender wird, je stärker ihre Ablenkung ist.

Aus der geringen Ablenkung folgt ferner, dass die Hauptstrahlen nahezu normal auf der Vorderfläche der Linse (oder der Hornhaut) stehen müssen, was auch aus dem geringen Abstande des vorderen Knotenpunktes von dem Krümmungsmittelpunkte der Vorderfläche der Linse und der Hornhaut hervorgeht. Dieser Knotenpunkt liegt zwischen dem Krümmungsmittelpunkte der Hornhaut und dem der Vorderfläche der Linse.

In dem aus zwei Medien bestehenden Auge ist der Hauptstrahl af steiler, als der von f nach dem Krümmungsmittelpunkte der Vorderfläche der Linse gezogene Radius und in dem aus drei Medien bestehenden Auge ist Diess noch mehr der Fall. Man hat nämlich für den Hauptstrahl $\varphi = 0{,}76\,\alpha$; derselbe trifft also die Vorderfläche der Linse in einem tieferen Punkt f als der normal auf dieser Fläche stehende Strahl und zwar in einem Punkte, dessen Winkelabstand etwa $^3/_4$ des Winkels α beträgt.

Ein Strahl, welcher normal in die Vorderfläche der Linse eindringen soll, also daselbst gar keine Ablenkung erleidet, muss einen höher gelegenen Punkt dieser Vorderfläche treffen. Für einen solchen Strahl ist $\varphi = \alpha$; derselbe geht im Glaskörper unter dem Neigungswinkel

$$\alpha'' = \left[n' + (n' - 1)\,\frac{r - c}{r'}\right]\alpha$$

weiter. Für unser vereinfachtes Auge wird dieser Winkel $\alpha'' = 1{,}1\,\alpha$. Der austretende Strahl ist also etwa um den zehnten Theil stärker gegen die Sehaxe geneigt, als der eintretende. Im wirklichen Auge ist diese Vermehrung der Steilheit noch grösser.

Umgekehrt muss ein Strahl, welcher die Hornhaut normal durchdringen soll, einen tiefern Punkt treffen. Die Fortsetzung im Glaskörper wird alsdann nicht steiler, sondern flacher geneigt sein.

10. Chromatische Aberration. Wir wollen jetzt das vereinfachte Auge auf den Achromatismus prüfen. In den vorstehenden Formeln bezeichnet n den Brechungskoeffizienten für den Übergang aus der Luft in die Linse und n' den Brechungskoeffizienten für den Übergang aus dem Glaskörper in die Linse. Setzen wir den Brechungskoeffizienten für den Übergang aus der Luft in den Glaskörper $= n_1$; so ist $n' = \frac{n}{n_1}$.

Für den Brennpunkt der Zentralstrahlen aus unendlicher Entfernung hat man

$$y' = \frac{r'}{n' - 1 + \frac{(n-1)\, n' r'}{n r - (n-1)\, c}} = \frac{\frac{n_1}{n} r'}{1 - \frac{n_1}{n} + \frac{r'}{\frac{n}{n-1} r - c}}$$

Angenommen, die Koeffizienten n, n_1 beziehen sich auf rothe Strahlen, und für violette habe man resp. $n + \delta$ und $n_1 + \delta_1$; so wird für violette Strahlen

$$y_1' = \frac{\frac{n_1 + \delta_1}{n + \delta} r'}{1 - \frac{n_1 + \delta_1}{n + \delta} + \frac{r'}{\frac{n + \delta}{n + \delta - 1} r - c}}$$

Damit der Brennpunkt der Strahlen mit dem der rothen Strahlen zusammenfalle, muss $y_1' = y'$, also nahezu

$$\frac{\frac{\delta_1}{n_1}}{\frac{\delta}{n}} = 1 + \frac{n r r'}{[n r - (n-1)\, c]\, [n r - (n-1)(c - r')]}$$

sein. Für unser vereinfachtes Auge wird diese Bedingung

$$\frac{\delta_1}{n_1} = 1{,}64 \cdot \frac{\delta}{n}$$

Die Dispersion des Glaskörpers muss also $1\,^2/_3$ mal so gross sein, als die der Linse.

Ich habe vergeblich nach Beobachtungsresultaten über die Dispersion der brechenden Mittel des Auges gesucht: es scheinen hierauf noch keine Experimente gerichtet zu sein.

Nach Vorstehendem vertritt in der Kombination der Linse mit dem Glaskörper im Auge die Erstere das Kronglas und der Letztere das Flintglas einer achromatischen Fernglaslinse. Man sieht aber, dass die Natur das Problem der achromatischen Linse besser zu lösen verstanden hat, als die optischen Techniker. Denn die Techniker haben in dem Flintglase die grössere Dispersion nur mit einem grösseren Brechungskoeffizienten herstellen können (während für Kronglas $n = 1{,}53$ und $\frac{\delta}{n} = 0{,}013$ ist, hat man für Flintglas $n_1 = 1{,}64$ und $\frac{\delta_1}{n_1} = 0{,}026$). Die

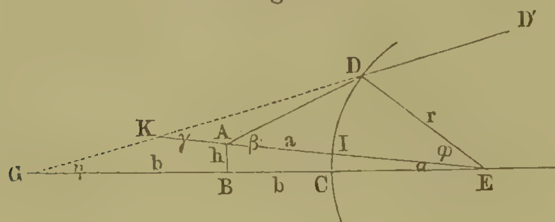
stärkere Brechbarkeit der zerstreuenden Flintglaslinse ist aber für optische Zwecke ungünstig, indem dadurch die Brennweite der achromatischen Linse verlängert wird. Im Auge dagegen ist die grössere Dispersion des Glaskörpers bei kleinerem Brechungskoeffizienten erzielt, wodurch die Brennweite verkürzt, also der optische Effekt erhöht wird.

Wäre die Brechbarkeit des Glaskörpers grösser; so müsste das Auge in der Axenrichtung länger sein und die Fläche der Netzhaut, welche dem Bezirke des deutlichen Sehens entspricht, vergrössert werden: es würde also überhaupt ein grösseres Organ und eine vermehrte Akkommodationsanstrengung erforderlich sein, wenn nicht eine Beschränkung der Sehweite eintreten sollte. Die höhere Vollkommenheit liegt daher unzweifelhaft in der geringeren Brechbarkeit des Glaskörpers bei vermehrter Dispersion desselben.

11. Schärfere Bestimmung des Brennpunktes geneigter Strahlenbündel. Die in No. 6 entwickelten Formeln sind nicht ganz scharf. Sie genügen für die in No. 7 daraus gezogenen Resultate: für die feineren physiologisch-optischen Gesetze, in welchen die Aberrationen eine wesentliche Rolle spielen, sind genauere Formeln nöthig.

In Fig. 63 ist die kugelförmige, um den Mittelpunkt E beschriebene Vorderfläche CD des ersten Mediums irgend eines Linsensystems dargestellt, dessen Axe GCE ist. A sei ein leuchtender Punkt, dessen Lage gegen die Axe des Systems durch die recktwinkligen Koordinaten $CB = b$, $AB = h$ oder durch den normalen Abstand $AJ = a$ und den Winkel $AEC = \alpha$ bestimmt ist. Der Radius EC der brechenden Fläche sei r und der Brechungskoeffizient für den Übergang aus der Substanz vor dem ersten Medium in dieses Medium n. Von dem Punkte A gehe ein Strahl AD aus, welcher die brechende Fläche in dem Punkte D trifft. Für diesen Punkt sei der Zentrumswinkel DEJ des Radius DE gegen die Linie AE gleich φ, also der Bogen $JD = r\varphi$. Der Neigungswinkel dieses Strahles gegen die Linie AE sei $DAE = \beta$. Nach der Brechung nimmt der Strahl die Richtung DD' an, deren Verlängerung die Linie AE in K und die Axe BC in G schneidet. Es sei $KJ = y$, Winkel $DKJ = \gamma$ und $DGE = \eta$.

Fig. 63.



Je nach der entgegengesetzten Richtung können die Grössen a, b, h, α, β, φ, γ, y auch negativ werden. Der Radius r wird negativ, wenn die brechende Fläche, von vorn gesehen, konkav ist. Der Brechungskoeffizient n ist grösser oder kleiner als 1, jenachdem das Medium stärker oder schwächer brechend ist, als die vor demselben befindliche Substanz.

Die gegebenen Grössen a, b, h, α, β stehen wegen der Kleinheit des Winkels α in den Beziehungen

$$a \cos \alpha = a\left(1 - \frac{\alpha^2}{2}\right) = b$$

$$\alpha = \frac{h}{b + r} = \frac{h}{a\left(1 - \frac{\alpha^2}{2}\right) + r}$$

$$\beta = \frac{r\,\varphi}{a}$$

Da die Neigungswinkel des ungebrochenen und des gebrochenen Strahles gegen die Linie AE immer klein sein werden; so kann man in dem Brechungsgesetze statt des Quotienten der Sinus den Quotienten jener Winkel selbst setzen. Hierdurch findet man

$$\gamma = \frac{-n + 1 + \frac{r}{a}}{n}\,\varphi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Ausserdem hat man, wenn man γ für $tang\,\gamma$ nimmt,

$$\frac{r \sin \varphi}{y + r(1 - \cos \varphi)} = \gamma$$

folglich

$$y = r\left\{\frac{n}{-n + 1 + \frac{r}{a}}\,\frac{\sin \varphi}{\varphi} - 1 + \cos \varphi\right\} \quad \ldots (2)$$

oder da man mit hinreichender Genauigkeit $\sin \varphi = \varphi - \frac{\varphi^3}{6}$ und $\cos \varphi = 1 - \frac{\varphi^2}{2}$ setzen kann, indem der Winkel φ keinen erheblichen Werth annimmt,

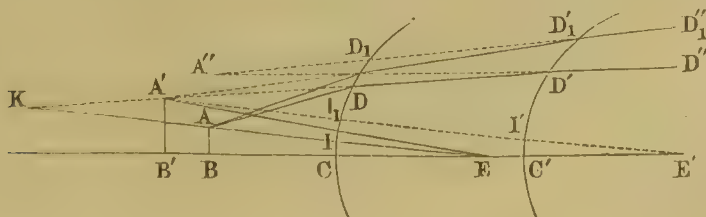
$$y = \frac{n\,r}{-n + 1 + \frac{r}{a}}\left\{1 - \left[1 + \frac{3}{n}\left(-n + 1 + \frac{r}{a}\right)\right]\frac{\varphi^2}{6}\right\} \quad . (3)$$

Der Neigungswinkel η des gebrochenen Strahles gegen die Koordinatenaxe GE ist

$$\eta = \gamma - \alpha = \frac{-n + 1 + \frac{r}{a}}{n}\,\varphi - \alpha \quad \ldots\ldots (4)$$

Jetzt sei AD_1 ein zweiter von A ausgehender, dem ersten AD unendlich benachbarter Strahl (Fig. 64), sodass also der unendlich kleine

Fig. 64.



Bogen $DD_1 = r\,d\varphi$ dem unendlich kleinen Zentrumswinkel $d\varphi$ entspricht.

Für diesen zweiten Strahl ergeben sich alle gleichnamigen Grössen aus den vorstehenden Formeln, indem man φ in $\varphi + d\varphi$ übergehen lässt, also durch Differentiation nach φ.

A' sei der Punkt, in welchem sich die Richtungen DD' und $D_1 D_1'$ jener beiden Strahlen nach der Brechung durchschneiden, also der Brennpunkt der beiden benachbarten Strahlen. Für diesen Punkt ist der Winkel $D_1 A' D = d\gamma$. Nach Gl. (1) ist aber

$$d\gamma = \frac{-n + 1 + \frac{r}{a}}{n}\, d\varphi$$

Bezeichnet man die Länge $A'D$ mit z; so findet sich

$$z = \frac{r \cos(\varphi + \gamma)}{\frac{d\gamma}{d\varphi}} = \frac{nr}{-n + 1 + \frac{r}{a}} \cos \frac{\left(1 + \frac{r}{a}\right)\varphi}{n} \quad . \; . \quad (5)$$

Sind jetzt a_1, h' die Koordinaten CB', $A'B'$ des Punktes A', von C aus gemessen, ferner $A'J_1 = a_1$ und Winkel $A'EB' = \alpha_1$; so erhält man

$$b_1 = z \cos\eta - r\,[1 - \cos(\varphi + \alpha)] \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

$$h' = r \sin(\varphi + \alpha) - z \sin\eta \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (7)$$

$$\alpha_1 = \frac{h'}{b_1 + r} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (8)$$

$$a_1 = \frac{b_1 + r}{\cos\alpha_1} - r \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (9)$$

Mit ziemlicher Genauigkeit kann man schreiben

$$z = \frac{nr}{-n + 1 + \frac{r}{a}} \left\{ 1 - \tfrac{1}{2} \left[\frac{\left(1 + \frac{r}{a}\right)\varphi}{n} \right]^2 \right\} \quad (10)$$

$$b_1 = z - \tfrac{1}{2} z \eta^2 - \tfrac{1}{2} r (\varphi + \alpha)^3 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (11)$$

$$h' = r(\varphi + \alpha) - z\eta \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (12)$$

$$\alpha_1 = \frac{h'}{b_1 + r} = \frac{r(\varphi + \alpha) - z\eta}{r + z} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (13)$$

$$a_1 = b_1 + (b_1 + r)\frac{\alpha_1^2}{2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (14)$$

Reihet sich jetzt an das erste Medium ein zweites, dessen Pol C' vom Pole C um $CC' = c$ absteht, ist also c die Dicke des ersten Mediums; so sei n' der Brechungskoeffizient für den Übergang aus dem ersten in das zweite Medium, also, wenn n_1 der Brechungskoeffizient für den Übergang aus der Luft in das zweite Medium ist, $n' = \frac{n_1}{n}$ (in den früheren Nummern haben wir mit n' den Brechungskoeffizienten

für den Übergang aus dem zweiten in das erste Medium, also den umgekehrten Werth $\frac{1}{n'} = \frac{n}{n_1}$ unseres jetzigen Koeffizienten bezeichnet). Ferner sei r' der Radius der brechenden Fläche C' (welcher negativ zu nehmen ist, wenn diese Fläche konkav ist).

Setzt man jetzt, entsprechend der Bezeichnung für das erste Medium $A'J' = a'$, $B'C' = b'$, $A'B' = h'$, Winkel $A'E'B' = \alpha'$, $D'E'J' = \varphi'$, ferner den Abstand des Durchschnittspunktes des zum zweiten Male gebrochenen Strahles $D'D''$ mit der Linie $A'E'$ vom Punkte J' mit y', den Neigungswinkel dieses Strahles gegen die Linie $A'E'$ mit γ; so hat man

$$a' = b_1 + c + (b_1 + c + r')\frac{\alpha^2}{2} \quad \ldots \ldots \quad (15)$$

$$b' = b_1 + c \quad \ldots \ldots \quad (16)$$

$$\alpha' = \frac{h'}{b_1 + c + r'} \quad \ldots \ldots \quad (17)$$

$$\varphi' = \frac{a'}{r'}(\eta + \alpha') \quad \ldots \ldots \quad (18)$$

Mit Hülfe dieser und der vorhergehenden Formeln werden alsdann die Grössen γ', y', η' durch Ausdrücke dargestellt, welche den Formeln (1) bis (4) ganz ähnlich sind. Man hat nämlich, indem man alle Grössen akzentuirt,

$$\gamma' = \frac{-n' + 1 + \frac{r'}{a'}}{n'}\varphi' \quad \ldots \ldots \quad (19)$$

$$y' = \frac{n'r'}{-n' + 1 + \frac{r'}{a'}}\left\{1 - \left[1 + \frac{3}{n'}\left(-n' + 1 + \frac{r'}{a'}\right)\right]\frac{\varphi'^2}{6}\right\} \quad \ldots \quad (20)$$

$$\eta' = \gamma' - \alpha' = \frac{-n' + 1 + \frac{r'}{a'}}{n'}\varphi' - \alpha' \quad \ldots \ldots \quad (21)$$

Für einen unendlich benachbarten Strahl AD_1, welcher nach der zweiten Brechung die Richtung $D_1'D_1''$ annimmt, sei A'' der Brennpunkt, d. h. der Durchschnittspunkt der beiden Richtungen $D'D''$ und $D_1'D_1''$, ferner sei $z' = A''D'$, ausserdem b_1', h'' die Koordinaten des Punktes A'' von C' aus gemessen, a_1' der Abstand des Punktes A'' von der zweiten brechenden Fläche in der Richtung $A''E'$, und α_1' der Winkel $A''E'B'$. Man hat ferner

$$z' = \frac{n'r'}{-n' + 1 + \frac{r'}{a'}}\left\{1 - \tfrac{1}{2}\left[\frac{\left(1 + \frac{r'}{a'}\right)\varphi'}{n'}\right]^2\right\} \quad \ldots \quad (22)$$

$$b_1' = z' - \tfrac{1}{2}z'\eta'^2 - \tfrac{1}{2}r'(\varphi' + \alpha')^2 \quad \ldots \ldots \quad (23)$$

$$h'' = r'(\varphi' + \alpha') - z'\eta' \quad \ldots \ldots \quad (24)$$

$$\alpha_1' = \frac{h''}{b_1' + r'} = \frac{r'(\varphi' + \alpha') - z'\eta'}{r' + z'} \quad \ldots \ldots \quad (25)$$

$$a_1' = b_1' + (b_1' + r')\,\frac{\alpha_1'^2}{2} \quad \ldots \ldots \quad (26)$$

Für ein drittes Medium ist in ähnlicher Weise

$$a'' = b_1' + c' + (b_1' + c' + r'')\,\frac{\alpha'^2}{2} \quad \ldots \ldots \quad (27)$$

$$b'' = b_1' + c' \quad \ldots \ldots \quad (28)$$

$$\alpha'' = \frac{h''}{b_1' + c' + r''} \quad \ldots \ldots \quad (29)$$

$$\varphi'' = \frac{a''}{r''}\,(\eta' + \alpha'') \quad \ldots \ldots \quad (30)$$

Dieses Verfahren lässt sich für ein System von beliebig vielen Medien fortsetzen und liefert schliesslich in der Form der Ausdrücke (22) bis (26) die Koordinaten des Brennpunktes zweier benachbarten Strahlen, welchen am ersten Medium der Zentrumswinkel φ entspricht, in Beziehung zu der letzten brechenden Fläche oder zur Vorderfläche des letzten Mediums.

Will man den Strahl AJ verfolgen, welcher normal auf dem ersten Medium steht; so hat man $\varphi = 0$ zu setzen. Die eben gedachten Formeln bestimmen also den Brennpunkt zweier Zentralstrahlen des vom leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlenbündels.

Will man den Strahl AC mit seinem Nachbar verfolgen, welcher auf den Mittelpunkt der Pupille führt; so hat man $\varphi = -\alpha$ zu setzen.

Wir heben noch hervor, dass wenn man nicht den Brennpunkt des ersten Strahles vom Winkel φ mit dem unendlich benachbarten Strahle vom Winkel $\varphi + d\varphi$, sondern den Brennpunkt jenes ersten Strahles mit einem zweiten Strahle vom Winkel $\varphi + \varphi_1$ sucht, worin φ_1 positiv oder negativ sein kann, man statt des Ausdruckes (5) oder (10) für $z = A'D$ nur den folgenden zu setzen braucht.

$$z = \frac{r\,\varphi_1 \cos\left[\varphi + \dfrac{-n+1+\dfrac{r}{a}}{n}(\varphi + \varphi_1)\right]}{\sin \dfrac{-n+1+\dfrac{r}{a}}{n}\,\varphi_1} \quad \ldots \quad (31)$$

oder abgekürzt

$$z = \frac{n\,r}{-n+1+\dfrac{r}{a}}\left\{1 - {}^1\!/_2\left[\varphi + \frac{-n+1+\dfrac{r}{a}}{n}(\varphi+\varphi_1)\right]^2 + {}^1\!/_6\left(\frac{-n+1+\dfrac{r}{a}}{n}\,\varphi_1\right)^2\right\} \quad (32)$$

Mit Hülfe des Winkels γ nach Gl. (1) schreibt man diese Formeln, ndem man den Werth von γ für $\varphi = \varphi_1$ mit γ_1 bezeichnet, so

$$z = \frac{r\,\varphi_1 \cos(\varphi + \gamma + \gamma_1)}{\sin \gamma_1} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (33)$$

$$z = \frac{r\,\varphi_1}{\gamma_1}\left\{1 - {}^1/_2\,(\varphi + \gamma + \gamma_1)^2 + {}^1/_6\,\gamma_1^2\right\} \quad (34)$$

12. Anwendung auf das Auge. Um die obigen Formeln auf nser vereinfachtes Auge anzuwenden, hat man $r = 8$, $r' = -5$, $c = 7$, $n = 1{,}4$, $n' = \frac{1}{1{,}08} = 0{,}926$. Untersuchen wir nun die Entfernung z' les Brennpunktes der Zentralstrahlen für parallele Bündel oder für ine unendliche Sehweite; so hat man $\varphi = 0$ und $a = \infty$, $b = \infty$, ber $\frac{h}{b} = \alpha$ gleich dem Neigungswinkel der Axe des Strahlenbündels egen die Augenaxe zu setzen.

Für ein mit der Augenaxe parallel laufendes Bündel ist dann auch och $\alpha = 0$, folglich $\gamma = 0$, $\eta = 0$, $z = \frac{n\,r}{-n+1} = -28$, $b_1 = \frac{n\,r}{-n+1} = -28$, $a' = b_1 + c = -21$, $\alpha' = 0$, $\varphi' = 0$ nd schliesslich

$$z' = \frac{n'\,r'}{-n' + 1 + \dfrac{r'}{\dfrac{n\,r}{-n+1} + c}} = -14{,}84$$

Der Brennpunkt der Zentralstrahlen eines in der Sehlinie liegenen parallelen Strahlenbündels steht also 14,84 Millimeter von der Hinerfläche der Linse ab, und das negative Zeichen lehrt, dass derselbe nach ückwärts, nicht nach vorwärts liegt. Dasselbe Resultat, bis auf die in er Abkürzung der Rechnung liegende Differenz, haben wir schon in No. 3 erhalten.

Untersucht man jetzt den Brennpunkt der Zentralstrahlen eines parallelen Strahlenbündels, dessen Axe sich unter dem Winkel $\alpha = \frac{h}{b} = 0{,}1$ egen die Sehlinie neigt, indem man unter den Zentralstrahlen hier iejenigen unendlich benachbarten Strahlen versteht, welche auf der Vorerfläche des ersten brechenden Mediums normal stehen oder nach dem Krümmungsmittelpunkte dieser Vorderfläche konvergiren; so hat man

$$\gamma = 0, \quad \eta = -\alpha = -0{,}1, \quad z = \frac{n\,r}{-n+1} = -28,$$

$$b_1 = \frac{r}{-n+1}\,(n - {}^1/_2\,\alpha^2) = -27{,}9, \quad h' = \frac{r\,\alpha}{-n+1} = -2,$$

$$a' = b_1 + c + (b_1 + c + r')\,\frac{\alpha^2}{2} = -21{,}0295,$$

$$\alpha' = \frac{h'}{b_1 + c + r'} = 0{,}077, \qquad \varphi' = \frac{a'}{r'}\,(\eta + \alpha') = -\,0{,}0967$$

$$z' = \frac{n' r'}{-\,n' + 1 + \dfrac{r'}{a'}} \left\{ 1 + {}^1/_2 \left[\frac{\left(1 + \dfrac{r'}{a'}\right)\varphi'}{n'} \right]^2 \right\} = -\,14{,}72$$

Um den Brennpunkt für den Hauptstrahl zu bestimmen, so ha man für jeden Strahl, dessen äussere Richtung nach einem Punkte de Augenaxe zeigt, welcher in dem Abstande e von der Vorderfläche de Linse liegt, $(\alpha + \varphi)\, r = \alpha\, e$, also

$$\varphi = \frac{e - r}{r} \cdot \alpha$$

Für den Hauptstrahl hat man, da nach No. 9 der vordere Knoten punkt in dem Abstande von 0,9 Mm. vor der Hinterfläche der Linse liegt $e = 7 - 0{,}9 = 6{,}1$ Mm., also für ein paralleles Strahlenbündel von de Neigung $\alpha = 0{,}1$ $\varphi = \frac{6{,}1 - 8}{8} \cdot 0{,}1 = -\,0{,}023$. Hierdurch erhäl man wie vorstehend,

$$\gamma = 0{,}0066, \qquad \eta = -\,0{,}0934, \qquad z = -\,27{,}996,$$
$$b_1 = -\,27{,}898, \qquad h' = -\,1{,}999, \qquad a' = -\,21{,}027,$$
$$\alpha' = 0{,}077, \qquad \varphi' = -\,0{,}0681, \qquad z' = -\,14{,}78.$$

Dieses Resultat bestätigt zunächst, dass der Brennpunkt für di Hauptstrahlen in der That weiter von der Linse entfernt liegt, als de Brennpunkt der Zentralstrahlen, welche auf der Vorderfläche de Linse normal stehen, dass also überhaupt die übrigen Strahlen eines ge neigten Bündels von den Hauptstrahlen ebenso, wie bei einem axiale Bündel aberriren, indem sie sich vor dem Brennpunkte der Haupt strahlen schneiden.

Der Abstand 14,78 Mm. des wichtigsten Brennpunktes eines um $^1/_1$ gegen die Augenaxe geneigten parallelen Strahlenbündels weicht vo dem Abstande 14,84 Mm. des Brennpunktes des axialen Bündels so we nig ab, dass für Strahlen von jener Neigung das Netzhautbild auf eine mit dem Radius von 14,84 Mm. um den hinteren Pol der Linse be schriebenen Kugelfläche fast ebenso scharf ist, wie für axiale Strah len, oder dass für Objekte, deren Sehwinkel bis 12 Grad beträgt, di Schärfe des Netzhautbildes für alle Punkte fast gleich gut is

Interessant ist nun noch die Frage, ob der Brennpunkt der schräge Bündel, wenn derselbe auch nur wenig von jener Kugelfläche abweich vor oder hinter dieselbe fällt. Nach vorstehender Rechnung müsste e um $14{,}84 - 14{,}78 = 0{,}06$ Mm. vor die Netzhaut fallen. Die Klein heit dieser Differenz macht das Resultat unzuverlässig, da wir nach de Formeln (10) und (11) gerechnet haben, welche, wenn es auf eine solch Schärfe ankömmt, von den genaueren Formeln (6) und (7) vielleicht z sehr abweichen.

Statt jedoch die Rechnung durch die Formeln (6) und (7) zu kon troliren, wollen wir dieselbe lieber nochmals nach den Formeln (10) un

1) für eine stärkere Neigung des Strahlenbündels wiederholen. Neh-
en wir den doppelten Werth der obigen Neigung, also $\alpha = 0{,}2$. Diess
ebt $\varphi = -0{,}046$, $\gamma = 0{,}013$, $\eta = -0{,}187$, $z = -27{,}985$,
$= -27{,}591$, $h' = -4{,}001$, $a' = -21{,}103$, $\alpha' = 0{,}156$,
$' = -0{,}131$, $z' = -14{,}661$.

Hieraus ersehen wir, dass je grösser der Sehwinkel oder die
eigung der Hauptstrahlen gegen die Augenaxe wird, desto
iher der Brennpunkt an die Linse heranrückt. Übrigens ist
e Variation dieses Abstandes selbst für grosse Sehwinkel von
einer grossen Erheblickeit und tritt jedenfalls bedeutend gegen die
oweichungen der Aberration oder gegen die Unterschiede zwischen
n Abständen der Brennpunkte der Randstrahlen und der Brenn-
nkte der Hauptstrahlen in jedem Strahlenbündel zurück.

13. Allgemeinster Fall. — Gedrehte Strahlen. Im Vorstehen-
n ist angenommen, dass der von A ausgehende Strahl AD und auch
in Nachbar in einer durch A und die Augenaxe BC gehenden Ebene,
so in einer Meridionalebene des Auges liege. In diesem Falle ver-
eiben beide Strahlen nach beliebig vielen Brechungen immer in
rselben Ebene, durchschneiden sich also nach jeder Brechung und
fern daher Brennpunkte. Dieses ist nicht mit jedem beliebigen von
ausgehenden Strahle und seinem Nachbar der Fall. Die allgemeineren
rmeln ergeben sich folgendermaassen.

In Fig. 65 sei AF der zu betrachtende Strahl, welcher in F die
echende Fläche trifft, $ABED$ die durch den leuchtenden Punkt A und

Fig. 65.

die Augenaxe BE gelegte Meridionalebene, AEF die durch F und die Linie AE gelegte Ebene. In dieser Ebene sei der Zentrumswinkel $FEA = \varphi$, der Neigungswinkel dieser Ebene
EF gegen die Meridionalebene AED sei $= \psi$. Macht man also in
r letzteren Ebene den Winkel $DEJ = FEJ = \varphi$; so entsteht das
eieck AEF aus dem Dreiecke AED, indem letzteres sich um die Axe
E um den Winkel ψ dreht.

Der Strahl AF wird in der Ebene AEF gebrochen und man erhält
e Linien, Winkel und Punkte, welche für die Brechung wichtig sind,
nn man sich denkt, der Strahl ADD' werde in der Ebene AED ge-
ochen und hierauf werde die ganze aus dieser Brechung entstehende
ometrische Konstruktion, welche in Fig. 65 dargestellt ist, um die Axe
E um den Winkel ψ gedreht.

Hiernach behalten die Grössen γ, y, η die Werthe aus (1) bis (4),
d also von ψ unabhängig. Während wir einen in einer Meridional-
ene liegenden Strahl AD einen geneigten nennen, können wir füglich
allgemeineren Strahl AF als einen gedrehten bezeichnen.

Um jetzt einen benachbarten Strahl zu betrachten, so erkennt man

leicht, dass nur solche Strahlen sich nach der Brechung schneiden können, welche in Ebenen liegen, die durch die Linie AE gehen, also nur solche, in welchen ψ konstant und nur φ variabel ist. (Bei der zweiten Brechung geht aber auch für diese Strahlen der gemeinschaftliche Durchschnitt verloren und es behalten nur diejenigen einen Durchschnittspunkt, welche in der vertikalen Hauptebene $ABED$ liegen.)

Für einen benachbarten Strahl dieser Art stellt Fig. 64 die Konstruktion und A' den Brennpunkt dar. Lässt man diese Figur um die Axe AE um den Winkel ψ rotiren; so entspricht sie unserem Falle. Hierbei tritt der Brennpunkt A' und die ganze Linie $A'E$ aus der Meridionalebene heraus und man erkennt leicht, wie sich hieraus die stereometrischen Bedingungen ergeben, welche zu dem Übergange auf das zweite brechende Medium führen.

Übrigens kann man jetzt nicht mehr, wie im Vorhergehenden, darauf ausgehen, das Problem so zu lösen, dass sich sofort die einzelnen Brennpunkte A', A'', A''' ... je zwei benachbarter Strahlen nach der ersten, zweiten, dritten Brechung ergeben: denn im Allgemeinen haben je zwei benachbarten Strahlen gar nicht einen gemeinschaftlichen Durchschnittspunkt. Demgemäss verfolgen wir vorläufig nur den einfachen Strahl AF in Fig. 65 bei seinen Brechungen durch das Linsensystem.

Es ist wie früher $AJ = a$, $AB = h$, $BC = b$, Winkel $AEB = \alpha$, Winkel $DAE = \beta$ und wenn K der Durchschnitt des gebrochenen Strahles $F'F$ oder auch $D'D$ mit der Linie AE ist, $KJ = y$, Winkel $DKE = \gamma$. Überhaupt behalten wir in der Ebene AED die Bezeichnungen der Fig. 65 bei. Diess liefert für γ, y, η die Formeln (1) bis (4).

Beim Übergange zu dem zweiten Medium nehmen wir jetzt nicht wie früher den gemeinschaftlichen Durchschnitt des gebrochenen Strahles FF' mit einem benachbarten Strahle, sondern den gemeinschaftlichen Durchschnitt K jenes Strahles mit der Linie AE als neuen Ausgangspunkt des Strahles an (Fig. 65). Zu dem Ende ziehen wir die Linie KE' und setzen $KJ' = a'$, Winkel $KE'B = \alpha'$.

Man hat nahezu

$$a' = y + c \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (35)$$

$$\alpha' = \frac{(y + r)\,\alpha}{y + c + r'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (36)$$

Läge der ursprüngliche Strahl in der vertikalen Hauptebene, wäre also $\psi = 0$; so würde an der zweiten brechenden Fläche der Zentrumswinkel $D'E'K = \varphi'$ durch die Formel

$$\varphi' = \frac{a'}{r'}(\gamma - \alpha + \alpha') \quad \ldots\ldots\ldots \quad (37)$$

bestimmt sein, und man könnte nun mit Hülfe der Grössen a', r', n', φ' die Grössen γ', y', η' nach den Formeln (1) bis (4) berechnen, indem man in diesen Formeln alle Grössen akzentuirte.

Wenn man nur einen einfachen Strahl, nicht sofort den Brennpunkt zweier benachbarten Strahlen durch das System verfolgen will; so ist dieses Verfahren, auch wenn der ursprüngliche Strahl in der vertikalen Hauptebene liegt, dem in No. 10 beschriebenen vorzuziehen.

Für unseren allgemeineren Strahl KFF' ist $F'E'K = \varphi'$ der zu estimmende Zentrumswinkel und der Neigungswinkel der Ebene $F'KE'$ egen die vertikale Hauptebene $D'KE'$ ist der zu bestimmende Drehungs-inkel ψ'. Ferner sei die Länge $F'K = z$. Bezeichnet man noch den Vinkel $F'KE'$ mit β'; so ergiebt sich Folgendes.

Die Ebene $KEFF'$ schneidet die zweite brechende Fläche in einem reise, dessen Radius ϱ den Werth

$$\varrho = \sqrt{r'^2 - (r' + c - r)^2 \alpha^2 \sin^2 \psi} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (38)$$

at und dessen Mittelpunkt M von der Linie KE in dem Abstande s

$$s = \alpha \sqrt{r'(r' + 2c - 2r) - (r' + c - r)^2 \sin^2 \psi} \quad . \quad . \quad (39)$$

egt.

Die von K nach dem Mittelpunkte M dieses Kreises gezogene Linie at die Länge $KM = t$

$$t = \sqrt{s^2 + [y + r + (r' + c - r) \cos \alpha]^2}$$

der abgekürzt

$$t = \sqrt{s^2 + (y + c + r')^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (40)$$

nd diese Linie KM schliesst mit der Linie KE den Winkel $MKE = \vartheta$ n, für welchen man

$$\vartheta = \frac{s}{y + r + (r' + c - r) \cos \alpha}$$

der abgekürzt

$$\vartheta = \frac{s}{y + c + r'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (41)$$

at.

Vermittelst dieser Hülfsgrössen ergiebt sich nun die Länge $KF' = z$ der Form

$$z = t \cos (\gamma - \vartheta) + \sqrt{\varrho^2 - t^2 \sin^2 (\gamma - \vartheta)} \quad . \quad (42)$$

Bezeichnet nun endlich β' den Neigungswinkel $F'KE'$ der Linie F' gegen die Linie KE'; so ist

$$\beta' = \sqrt{\frac{r'^2 - (a' + r' - z)^2}{z(a' + r')}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (43)$$

Jetzt findet man für den Zentrumswinkel $F'E'K = \varphi'$

$$\varphi' = \sqrt{\frac{z^2 - a'^2}{r'(a' + r')}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (44)$$

d für den Drehungswinkel ψ' oder den Neigungswinkel der Ebene $E'F'$ gegen die vertikale Hauptebene $KE'D'$

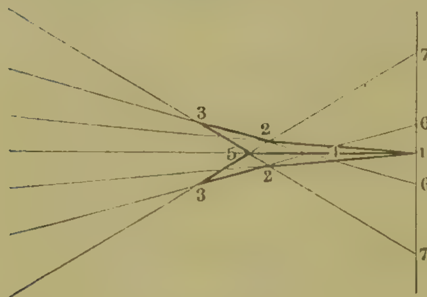
$$\sin \psi' = \frac{\gamma}{\beta'} \sin \psi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (45)$$

Mit den Koordinaten a', α', φ', ψ' tritt nun der Strahl KF' in das eite Medium ein und es wiederholen sich die nachstehenden Formeln, dem man alle Akzente um einen erhöht, also zunächst die Werthe von , y', η' bildet.

14. Brennkörper. Durch vorstehendes Verfahren kann man den Weg jedes Strahles durch das ganze Linsensystem verfolgen; also seine Abweichung von jedem anderen Strahle des leuchtenden Punktes A bestimmen. Der Durchschnitt irgend zwei solcher Strahlen nach der letzten Brechung ist der Brennpunkt dieser beiden Strahlen und die Ortsverschiedenheit der Brennpunkte der verschiedenen Strahlen ergiebt die sphärische Aberration des vom Punkte A ausgehenden Lichtes. Wollte man den gemeinschaftlichen Durchschnitt jedes einzelnen Strahles mit jedem der übrigen betrachten; so erhielte man eine unendliche Menge von Punktsystemen. Nicht in diesem Chaos von Brennpunkten, sondern nur in gewissen Gruppen derselben stellen sich die optischen Gesetze des Linsensystems übersichtlich heraus. Es kömmt also darauf an, die charakteristischen Gruppen herauszuheben.

Beginnen wir mit dem einfachsten Falle, wo der leuchtende Punkt in der Sehaxe liegt. Alsdann durchschneiden sich alle in derselben Meridionalebene liegenden Strahlen gegenseitig. Betrachtet man in einer solchen Ebene die gegenseitigen Durchschnitte (Fig. 66) der unendlich benachbarten Strahlen; so erhält man eine doppelte Kurve 1, 2, 3, welche in der äussersten, den Zentralstrahlen entsprechenden Spitze die Sehaxe tangirt. Die den sämmtlichen Meridionalebenen entsprechenden Kurven dieser Art bilden eine Rotationsfläche, deren wir früher schon als Brennfläche erwähnt haben. Da sich in den Punkten 2, 3 immer nur zwei in derselben Meridionalebene liegenden Strahlen von verschiedenem Zentrumswinkel φ, nicht aber zwei in benachbarten Meridionalebenen liegenden Strahlen von gleichem Zentrumswinkel φ schneiden; so hat diese Brennfläche das Charakteristische, dass die Stetigkeit des Lichtes in ihr nur längs der Meridionalkurven 1, 2, 3, nicht aber in den auf der Sehaxe normal stehenden Kreisschnitten stattfindet. Diese Fläche ist also eigentlich eine Aneinanderreihung von leuchtenden Kurven, welche nur in den Meridionalebenen, nicht seitwärts leuchten.

Fig. 66.



Die wesentliche Bedeutung dieser Brennfläche für das Auge besteht darin, dass sie als Einhüllungsfläche aller Brennpunkte die äusserste Grenze des Raumes bezeichnet, in welchem überhaupt gemeinschaftliche Durchschnitte von je zwei Strahlen oder Brennpunkte liegen.

Man erkennt leicht, dass alle von A ausgehenden Strahlen, welchen derselbe Zentrumswinkel φ entspricht, also sämmtliche Strahlen einer Kegelfläche, welche einen um den Mittelpunkt der Pupille beschriebenen Kreis zur Basis hat, sich in einunddemselben Punkte der Sehaxe treffen. So liegt also der Brennpunkt aller Randstrahlen in 5 und der Brennpunkt aller Zentralstrahlen in 1. Diese Brenn-

unkte reihen sich zu einer geraden Linie 1, 4, 5 aneinan-
er, welche in der Sehlinie liegt.

Die wesentliche Bedeutung dieser Brennlinie 1, 4, 5 besteht darin, ıss sie eine Linie von viel bedeutenderer Lichtintensität, als die orhergehende Brennfläche darstellt, weil jeder Punkt von ihr der onzentrationspunkt unendlich vieler Strahlen ist, während sich in dem Punkte der Brennfläche nur zwei Strahlen vereinigen.

Es ist auch klar, dass die Brennlinie 1, 4, 5 in ihren einzelnen Punkn eine sehr verschiedene Intensität hat. In der Spitze 1 konzentrirt ch ein Strahlenbündel, dessen Querschnitt vor der Linse einen kleinen reis vom Radius $d\varphi$ bildet. In dem vorderen Endpunkte 5 dagegen nzentrirt sich ein ungleich grösseres Strahlenbündel, dessen Querschnitt r der Linse einen Ring bildet. Die Breite dieses Ringes ist gleich φ; aber sein innerer Radius ist gleich dem Radius ϱ der Pupille. Da e Grösse einer solchen Ringfläche $= 2\pi\varrho\, d\varphi$ ist; so folgt, dass die ichtstärke der Linie 1, 4, 5 von 1 gegen 5 stark zunimmt.

Wenn man von der singulären Bedeutung solcher einzelnen Gruppen n Brennpunkten absieht; so ist die geometrische Figur, in welcher sich rmöge der sphärischen Aberration die Durchschnittspunkte von je rei Strahlen vertheilen, ein Körper und zwar ein trichterförmiger evolutionskörper, welcher durch die Umdrehung der Kurve 1, 2, 3 ıd der Linie 3, 5 um die Axe 1, 4, 5 entsteht. In der Axe 1, 4, 5 lien die meisten Brennpunkte.

Verlängert man alle Strahlen bis in die Netzhautfläche; so stellt die reisfläche vom Radius 1, 6, 7 den durch die Aberration erzeugten erstreuungskreis dar, dessen Lichtstärke im Zentrum 1 am stärkn ist und sich nach dem Umfange hin immer mehr verliert.

Die vorstehenden einfachen Verhältnisse nimmt der Brennkörper r dann an, wenn der leuchtende Punkt A in der Sehlinie liegt. Fällt eser Punkt ausserhalb der Sehaxe; so kommen die Durchschnitte der rahlen in Betracht, für welche sowohl der Zentrumswinkel φ, als ch der Drehungswinkel ψ beliebige Werthe annimmt.

Nun ist klar, dass nur diejenigen Strahlen in einer Meridionalene liegen, für welche der Drehungswinkel $\psi = 0$ ist. Diese Strahı schneiden sich gegenseitig wie die vorhin betrachteten sowohl in einer ırve 1, 2, 3, wie auch in einer Linie 1, 4, 5. Zwei dieser Durchschnittsnkte sind die wichtigsten: zunächst der Brennpunkt 1 der Zentralrahlen, wofür φ unendlich klein aber einmal positiv und einmal netiv ist, und alsdann der Brennpunkt 5 der beiden äussersten Randrahlen, wofür φ einen gegebenen Werth einmal positiv, einmal netiv hat. Wenn man will, kann man statt des letzteren Brennpunktes 5 beiden entgegengesetzten Randstrahlen auch den Brennpunkt 3 eier unendlich benachbarten Randstrahlen untersuchen.

Was nun die nicht in der Meridionalebene liegenden Strahlen beifft; so schneiden sich keineswegs sämmtliche Strahlen, welche irgend en anderen konstanten Drehungswinkel ψ haben. Ebensowenig schnein sich sämmtliche Strahlen, welche irgend einen konstanten Zentrumsnkel φ haben. Damit zwei Strahlen φ, ψ und φ', ψ' sich schneiden, ssen die Winkel φ, ψ, φ', ψ' in einer gewissen Beziehung stehen. So

viel aber erkennt man sofort, dass sich immer zwei solche Strahlen schneiden werden, welche denselben Zentrumswinkel φ haben und von welchen der eine durch ebenso starke Drehung nach links, wie der andere nach rechts entstanden ist, von welchen also der eine den entgegengesetzten Drehungswinkel ψ des anderen hat. Der gemeinschaftliche Brennpunkt solcher zwei entgegengesetzt gedrehten Strahlen ist derselbe Punkt, in welchem der eine oder der andere die vertikale Grundebene trifft. Durch diese Bemerkung wird die Bestimmung eines solchen Brennpunktes leicht.

Von allen gedrehten Strahlen spielen nun zwei Paare eine Hauptrolle. Das erste Paar ist dasjenige Paar von Zentralstrahlen, welches einer Drehung um 90 Grad entspricht, also dasjenige, wofür φ unendlich klein ist, während ψ für den einen Strahl $= \frac{\pi}{2}$ und für den anderen $= -\frac{\pi}{2}$ ist. Das zweite Paar ist dasjenige Paar von Randstrahlen, welches ebenfalls einer Drehung um 90 Grad entspricht, wofür also φ einen gegebenen Werth hat, ψ aber resp. $= \frac{\pi}{2}$ und $= -\frac{\pi}{2}$ ist.

Hiernach lässt sich die sphärische Aberration der von einem ausserhalb der Sehlinie liegenden Punkte ausgehenden Strahlen gehörig beurtheilen, wenn man die im Vorstehenden beschriebenen vier Brennpunkte konstruirt, von welchen der erste den Zentralstrahlen der Meridionalebene, der zweite den Randstrahlen der Meridionalebene, der dritte den um 90 Grad gedrehten Zentralstrahlen und der vierte den um 90 Grad gedrehten Randstrahlen angehört. Als Brennpunkt der Randstrahlen der Meridionalebene kann man entweder den Brennpunkt 3 der unendlich benachbarten oder den Brennpunkt 5 der äussersten entgegengesetzten Randstrahlen betrachten. Der letztere 5 wird in den meisten Fällen ein grösseres Interesse als der erstere 3 haben, weil sein Abstand 1,5 von der Fläche 7,7 zugleich dem Radius 1,7 des Zerstreuungskreises proportional ist: ausserdem entspricht derselbe dem Brennpunkte der um 90 Grad gedrehten Randstrahlen, bei welchen die unendlich benachbarten gar keinen gemeinschaftlichen Brennpunkt haben: aus allen diesen Gründen ziehen wir also den Punkt 5, nicht den Punkt 3 zur Vergleichung mit den übrigen drei.

Was nun zunächst die Brennpunkte in der Meridionalebene betrifft; so stelle in Fig. 61 CD die letzte brechende Oberfläche des Linsensystems dar und es seien Winkel $\gamma = D'KE$, $\varphi = DEK$ die der letzten Brechung entsprechenden Grössenwerthe, welche sich aus der Rechnung in No. 10 ergeben; r sei der Radius der letzten brechenden Fläche und z der Abstand vom Punkte D, in welchem sich der Strahl $D'DK$ vom Zentrumswinkel φ mit irgend einem anderen Strahle schneidet, für welchen die Grössen φ, γ resp. die Werthe φ_1, γ_1 haben. Man findet leicht

$$z = \frac{r\,(\varphi_1 - \varphi)\,\cos\,(\gamma + \varphi)}{\gamma_1 - \gamma} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (46)$$

Für die Zentralstrahlen kann man den Brennpunkt ebensowohl als den Durchschnitt der beiden unendlich benachbarten Strahlen, für welche $\varphi = 0$, $\varphi_1 = \partial \varphi$, $\gamma = \gamma$, $\gamma_1 = \gamma + \partial \gamma$ ist, als auch den Durchschnitt der beiden entgegengesetzt liegenden Strahlen, für welche $\varphi = \partial \varphi$, $\varphi_1 = -\partial \varphi$, $\gamma = \partial \gamma$, $\gamma_1 = -\partial \gamma$ ist, ansehen. In beiden Fällen erhält man

$$z = \frac{r\,\cos\,\gamma}{\frac{\partial \gamma}{\partial \varphi}} = \frac{r\,(1 - 1/_2\,\gamma^2)}{\frac{\partial \gamma}{\partial \varphi}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (47)$$

indem man in den Werthen von γ und $\frac{\partial \gamma}{\partial \varphi}$ schliesslich $\varphi = 0$ setzt.

Für den Brennpunkt 5 der entgegengesetzten Randstrahlen wird $\varphi_1 = -\varphi$. Ist also γ_1 der Werth von γ für den Zentrumswinkel $-\varphi$; so hat man

$$z = \frac{2\,r\,\varphi\,\cos\,(\gamma + \varphi)}{\gamma - \gamma_1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (48)$$

Was sodann die Brennpunkte der um 90 Grad gedrehten Strahlen betrifft; so liefern die Formeln in No. 12 unmittelbar den Abstand $y = KJ$ von der letzten brechenden Fläche, in welchem der Strahl mit den Winkeln φ, ψ die vertikale Koordinatenebene trifft. Substituirt man in diesem Ausdrucke von y für ψ den Werth $\frac{\pi}{2}$; so erhält man den Brennpunkt der um 90 Grad gedrehten Randstrahlen für die Pupillenweite $2\,\varphi$. Nimmt man aber $\varphi = 0$; so ergiebt sich der Brennpunkt der um 90 Grad gedrehten Zentralstrahlen.

15. Polarisation der Strahlen beim Durchgange durch ein Linsensystem. Aus §. 2 No. 10 wissen wir, dass ein Strahl bei der Brechung mehr oder weniger polarisirt wird. Von einem Strahlenbündel wird also ein Theil seiner elementaren Bestandtheile in Strahlen verwandelt, deren Schwingungsebene in der Brechungsebene liegt. Ein polarisirter Strahl wird in seiner Schwingungsebene fast vollständig gebrochen, in jeder anderen Ebene umso unvollständiger, je mehr diese Ebene von der Schwingungsebene abweicht.

Hieraus folgt, dass ein Strahl, welcher ursprünglich in einer Meridionalebene des Linsensystems liegt, also auch bei allen Brechungen darin verbleibt, durch die Brechungen immer mehr in einen polarisirten Strahl verwandelt wird, welcher in jener Meridionalebene schwingt. Ein solcher Strahl wird an jeder folgenden Linsenfläche und auch an den vielen Flächen der Schalen, aus welchen die Linse des Auges besteht, möglichst vollständig gebrochen, gelangt also mit der geringsten Einbusse an Intensität auf die Netzhaut.

Ein gedrehter Strahl dagegen, welcher ursprünglich nicht in einer Meridionalebene liegt, wird bei der ersten Brechung theilweise in einen

polarisirten Strahl verwandelt, welcher in einer durch den Strahl und die Normale der vorderen Fläche gehenden Ebene schwingt. Ein so polarisirter Strahl wird an der zweiten Fläche nur unvollständig gebrochen, erleidet also beim Durchgange durch das Linsensystem eine umso erheblichere Einbusse an Intensität, je grösser sein Drehungswinkel und je grösser sein Neigungswinkel ist.

Unter denselben Umständen, unter welchen nach No. 13 und 14 die Aberration der gedrehten Strahlen wächst, nimmt hiernach ihre Intensität ab. Diess ist für die physiologische Optik von Wichtigkeit, da man daraus das Übergewicht der meridionalen Strahlen erkennt, wodurch sich die geringere Berücksichtigung der gedrehten Strahlen rechtfertigt.

16. Differentialformeln. Wir haben in den vorhergehenden Nummern verschiedene Eigenschaften untersucht, welche die durch ein optisches Linsensystem hindurchgehenden Strahlen besitzen. Wegen der Komplizirtheit der Formeln muss man sich vielfach mit Näherungsresultaten begnügen. Unter Umständen kann jedoch eine grössere Schärfe wünschenswerth sein. Für solche Zwecke wollen wir hier noch die genauen Grundformeln niederschreiben und den Weg ihrer weiteren Behandlung andeuten. Dabei beschränken wir uns jedoch auf Strahlen, welche in Meridionalebenen des Systems liegen.

Für die Brechung an der ersten Fläche hat man

$$\sin(\varphi - \alpha) = n \sin(\varphi - \alpha') \quad \ldots \quad (49)$$

Für die Brechung an der zweiten Fläche

$$\sin(\varphi' - \alpha') = n' \sin(\varphi' - \alpha'') \quad \ldots \quad (50)$$

Ausserdem ruft der Übergang von der ersten zur zweiten Fläche die Gleichung

$$r \sin\varphi - r' \sin\varphi' = [c - r(1 - \cos\varphi) + r'(1 - \cos\varphi')] \tang\alpha'$$

hervor. Multiplizirt man diese Gleichung mit $\cos\alpha'$ und setzt den Abstand des Krümmungsmittelpunktes der zweiten brechenden Fläche von dem der ersten, also die Grösse $c - r + r' = e$; so nimmt dieselbe folgende Form an

$$r \sin(\varphi - \alpha') - r' \sin(\varphi' - \alpha') = e \sin\alpha' \quad . \; . \; . \quad (51)$$

Die Grösse e hat dasselbe Zeichen wie r, wenn die Linie vom Krümmungsmittelpunkte der ersten nach dem der zweiten Fläche dieselbe Richtung hat, wie der vom Pole der ersten Fläche nach deren Krümmungsmittelpunkte führende Radius; im entgegengesetzten Falle erscheint e mit entgegengesetztem Zeichen. Insbesondere ist für das Auge $e = 7 - 8 - 5 = -6$ negativ.

Für jede folgende brechende Fläche erhält man zwei den letzten beiden ähnliche Gleichungen durch Erhöhung der Akzente.

Handelt es sich jetzt um das gegenseitige Verhältniss zweier das System durchdringenden Strahlen in derselben Meridionalebene; so ist zu unterscheiden, ob die eintretenden Strahlen parallel sind oder von einem festen Punkte ausgehen. Sind sie parallel oder kommen sie von einem unendlich entfernten Punkte her; so ist der Winkel α konstant und

zwei eintretende Strahlen unterscheiden sich durch die Verschiedenheit ihres Abstandes von irgend einem festen Punkte, z. B. von dem Mittelpunkte der ersten brechenden Fläche. Dieser Abstand ist

$$x = r \sin(\varphi - \alpha) \quad \ldots \ldots \quad (52)$$

Gehen die Strahlen von einem Punkte aus, welcher in der Entfernung b von der ersten Fläche und im Abstande h von der Axe des Systems liegt; so ist der Winkel α veränderlich und man hat für alle Strahlen die Gleichung

$$h \cos \alpha = (b + r) \sin \alpha + r \sin(\varphi - \alpha) \quad \ldots \quad (53)$$

Der Durchschnitt eines einmal gebrochenen Strahles mit der Axe des Systems liegt hinter dem Mittelpunkte der ersten brechenden Fläche in der Entfernung

$$y = \frac{r \sin(\varphi - \alpha')}{\sin \alpha'}$$

Der Durchschnitt eines zweimal gebrochenen Strahles liegt hinter dem Mittelpunkte der zweiten brechenden Fläche in der Entfernung

$$y' = \frac{r' \sin(\varphi' - \alpha'')}{\sin \alpha''}$$

Bezeichnet man mit dem Index 1 einen anderen Strahl; so sind die rechtwinkligen Koordinaten u, v des gemeinschaftlichen Durchschnitts- oder Brennpunktes dieser beiden Strahlen vom Mittelpunkte der letzten brechenden Fläche resp. parallel und normal zur Axe nach der ersten Brechung

$$u = \frac{y_1 \cos \alpha' \sin \alpha_1' - y \sin \alpha' \cos \alpha_1'}{\sin(\alpha_1' - \alpha')}$$

$$v = \frac{(y_1 - y) \sin \alpha' \sin \alpha_1'}{\sin(\alpha_1' - \alpha')}$$

Für den Brennpunkt nach der zweiten Brechung sind die Akzente um einen zu erhöhen.

Die Divergenz der beiden Strahlen ist vor dem Eintritte in das System $\alpha_1 - \alpha$, nach der ersten Brechung $\alpha_1' - \alpha'$, nach der zweiten Brechung $\alpha_1'' - \alpha''$.

Will man unendlich benachbarte Strahlen untersuchen; so ist

$$\alpha_1 - \alpha = \partial \alpha \qquad \alpha_1' - \alpha' = \partial \alpha' \qquad \alpha_1'' - \alpha'' = \partial \alpha''$$

Für parallele Strahlen hat man zu beachten, dass α konstant, also $\partial \alpha = 0$, dass dagegen x die unabhängige Veränderliche ist. Alle Differentiationen müssen sich also auf x beziehen. Nimmt man also φ als Hülfsvariabele; so ist das erste Differential irgend einer Grösse, z. B. des Winkels α''

$$\partial \alpha'' = \frac{\partial \alpha''}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \partial x$$

und das zweite Differential

$$\partial^2 \alpha'' = \frac{\partial^2 \alpha''}{\partial \varphi^2} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 \partial x^2 + \frac{\partial \alpha''}{\partial \varphi} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \partial x^2$$

Da nun nach der obigen Beziehung

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{1}{r \cos (\varphi - \alpha)}$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = \frac{\sin (\varphi - \alpha)}{r \cos^2 (\varphi - \alpha)} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\sin (\varphi - \alpha)}{r^2 \cos^3 (\varphi - \alpha)}$$

ist; so hat man

$$\partial \alpha'' = \frac{1}{r \cos (\varphi - \alpha)} \frac{\partial \alpha''}{\partial \varphi} \partial x$$

$$\partial^2 \alpha'' = \frac{1}{r^2 \cos^2 (\varphi - \alpha)} \left\{ \frac{\partial^2 \alpha''}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial \alpha''}{\partial \varphi} \operatorname{tang} (\varphi - \alpha) \right\} \partial x^2$$

Gehen dagegen die Strahlen von einem gegebenen Punkte aus; so ist der Winkel α die unabhängig veränderliche Grösse: es ist also Alles nach α zu differentiiren.

Für den Brennpunkt zweier benachbarten Strahlen hat man nach der ersten Brechung die Koordinaten

$$u = y + \frac{\sin \alpha' \cos \alpha' \,.\, \partial y}{\partial \alpha'}$$

$$v = \frac{\sin^2 \alpha' \,.\, \partial y}{\partial \alpha'}$$

und nach der zweiten Brechung, indem man die Akzente um einen erhöht,

$$u' = y' + \frac{\sin \alpha'' \cos \alpha'' \,.\, \partial y'}{\partial \alpha''}$$

$$v' = \frac{\sin^2 \alpha'' \,.\, \partial y'}{\partial \alpha''}$$

Derjenige Strahl, welcher nach der ersten Brechung mit seiner ursprünglichen Richtung parallel bleibt, wird durch die Bedingung

$$\alpha' = \alpha$$

gefunden. Derjenige Strahl, welcher nach der zweiten Brechung seiner ursprünglichen Richtung parallel bleibt, erfordert die Bedingung

$$\alpha'' = \alpha$$

Diejenigen Nachbarstrahlen, deren Brennpunkt nach der ersten Brechung am weitesten entfernt liegt, für welche also die Grösse u ein Maximum sein muss, sind durch die Bedingung

$$\partial u = 0$$

bestimmt. Nach der zweiten Brechung ist der Brennpunkt derjenigen Strahlen am entferntesten, für welche

$$\partial u' = 0$$

ist.

Für diejenigen Nachbarstrahlen, welche nach der ersten Brechung die kleinste Divergenz zeigen, für welche also $\partial \alpha'$ ein Maximum ist, muss

$$\partial^2 \alpha' = 0$$

sein. Für diejenigen, welche nach der zweiten Brechung am wenigsten divergiren, hat man

$$\partial^2 \alpha'' = 0$$

Wenn die Richtung der Strahlen nicht sehr von der axialen abweicht, also alle Winkel α, α', α'', φ, φ' ... klein sind, lassen sich die vorstehenden Formeln abkürzen, indem man ihre nach Potenzen dieser kleinen Grössen entwickelten Ausdrücke nur bis auf die Glieder von erster Dimension genau nimmt, also den Sinus einer solchen Grösse gleich der Grösse selbst und den Kosinus davon gleich 1 setzt.

Man muss jedoch sorgfältig beachten, dass diese abgekürzten Formeln, so brauchbar sie auch als Näherungsformeln für viele Zwecke sind, doch nicht zur Lösung solcher Aufgaben brauchbar sind, welche eine Differentiation erfordern, weil vermöge dieser Formeln jede Grösse sich als ein Ausdruck ersten Grades von der unabhängig Veränderlichen darstellt, demzufolge sein erstes Differentialverhältniss konstant und sein zweites gleich null wird.

Zur angenäherten Lösung der letzteren Aufgaben müssen die genauen Formeln differentiirt werden und alsdann die erhaltenen Resultate abgekürzt werden.

Verfährt man in dieser Weise; so ergeben die obigen Grundformeln (49) bis (53) für zwei Brechungen

$$\varphi - \alpha = n(\varphi - \alpha') \quad \ldots \quad (54)$$

$$\varphi' - \alpha' = n'(\varphi' - \alpha'') \quad \ldots \quad (55)$$

$$r\varphi - r'\varphi' = c\alpha' \quad \ldots \quad (56)$$

$$x = r(\varphi - \alpha) \quad \ldots \quad (57)$$

$$h = b\alpha + r\varphi \quad \ldots \quad (58)$$

Differentiirt man jene Grundformeln einmal und kürzt alsdann in derselben Weise ab; so erhält man

$$\partial\varphi - \partial\alpha = n(\partial\varphi - \partial\alpha') \quad \ldots \quad (59)$$

$$\partial\varphi' - \partial\alpha' = n'(\partial\varphi' - \partial\alpha'') \quad \ldots \quad (60)$$

$$r\partial\varphi - r'\partial\varphi' = c\partial\alpha' \quad \ldots \quad (61)$$

$$\partial x = r(\partial\varphi - \partial\alpha) \quad \ldots \quad (62)$$

$$0 = b\partial\alpha + r\partial\varphi \quad \ldots \quad (63)$$

Handelt es sich um parallele Strahlen, für welche α konstant, also $\partial\alpha = 0$ ist; so fällt die letzte Gleichung aus, und handelt es sich um Strahlen, welche von einem gegebenen Punkte ausgehen, für welche α die unabhängig Veränderliche ist; so fällt die vorletzte Gleichung weg.

Differentiirt man die Grundformeln zum zweiten Male und kürzt wiederum ab; so ergiebt sich

$$\begin{aligned}&\partial^2\varphi - \partial^2\alpha - (\varphi - \alpha)(\partial\varphi - \partial\alpha)^2 \\ &\quad = n(\partial^2\varphi - \partial^2\alpha') - n(\varphi - \alpha)(\partial\varphi - \partial\alpha')^2 \end{aligned} \quad (64)$$

$$\begin{aligned}&\partial^2\varphi' - \partial^2\alpha' - (\varphi' - \alpha')(\partial\varphi' - \partial\alpha')^2 \\ &\quad = n'(\partial^2\varphi' - \partial^2\alpha'') - n'(\varphi' - \alpha'')(\partial\varphi' - \partial\alpha'')^2 \end{aligned} \quad (65)$$

$$\begin{aligned}&c\partial^2\alpha' - r\partial^2\varphi + r'\partial^2\varphi' \\ &= e\alpha'\partial\alpha'^2 - r(\varphi - \alpha')(\partial\varphi - \partial\alpha')^2 + r'(\varphi' - \alpha')(\partial\varphi' - \partial\alpha')^2 \end{aligned} \quad (66)$$

$$\partial^2 x = 0 = (\partial^2 \varphi - \partial^2 \alpha) - (\varphi - \alpha)(\partial \varphi - \partial \alpha)^2 \quad (67)$$

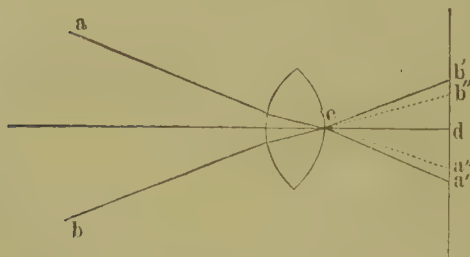
$$\partial^2 \alpha = 0 = r \partial^2 \varphi + [h - (b + r)\alpha] \partial \alpha^2 - r(\varphi - \alpha)(\partial \varphi - \partial \alpha)^2 \quad (68)$$

Ausserdem hat man abgekürzt

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{1}{r} \qquad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = \frac{\varphi - \alpha}{r^2}$$

17. Die wirksamsten Strahlen. — Äusserer und innerer Sehwinkel. Denjenigen Strahl eines parallelen oder eines von einem gegebenen Punkte ausgehenden Bündels, welcher nach allen Brechungen in dem Linsensysteme dieselbe Richtung hat, wie vor dem Eintritte in das System, und welchen wir in No. 9 näher bestimmt haben, hat man durch den besonderen Namen des Hauptstrahles ausgezeichnet. Offenbar ist der Parallelismus der äusseren und der inneren Strecke eines Strahles eine ganz unwesentliche Eigenschaft und rechtfertigt eine solche Auszeichnung durchaus nicht. Diese Eigenschaft hat nur ein geometrisches, kein optisches Interesse, und selbst das erstere ist sehr untergeordneter Art. Denn keineswegs liefert nur allein der Durchschnitt dieser Hauptstrahlen aa', bb' (Fig. 67) mit einer hinter dem Linsensysteme aufgestellten Fläche ein Bild $a'b'$, welches der perspektivischen Projektion des vom Linsensysteme aus gesehenen Objektes ab geometrisch ähnlich ist. Auch alle diejenigen Strahlen aa'', bb'', deren Neigungswinkel $a''cd$, $b''cd$ gegen die Axe cd in einem bestimmten konstanten Verhältnisse gegen die Neigungswinkel $a'cd$, $b'cd$ vergrössert oder verkleinert sind, liefern ein dem Objekte ähnliches optisches Bild.

Fig. 67.



Von viel grösserer optischen Bedeutung sind folgende Strahlen. Erstens derjenige, welcher in die Spitze des Brennkörpers führt: denn dieser Strahl führt in die Mitte des Zerstreuungskreises. Zweitens derjenige, welcher nach den Brechungen die geringste Divergenz zeigt, d. h. gegen welchen sich ein unendlich benachbarter Strahl des ursprünglichen Bündels unter dem kleinsten Winkel $\partial \alpha''$ neigt: denn dieser Strahl ist ohne Frage der intensivste. Drittens derjenige, welcher die längste Brennweite hat: denn derselbe nöthigt das Auge, wie wir später sehen werden, zur stärksten Akkommodationsanstrengung. Viertens derjenige, welcher die Axe des Brennkörpers bildet: denn dieser Strahl bezeichnet für jeden beliebigen Abstand der Fläche, auf welcher man die Strahlen auffängt, den Mittelpunkt des Zerstreuungskreises.

Alle diese wesentlichen Eigenschaften vereinigen sich in einunddemselben Strahle. Denn der Strahl von geringster Divergenz hat offenbar auch die grösste Brennweite, führt also in die Spitze des Brennkörpers und bildet die Axe des letzteren. Demnach nennen wir diesen

wichtigen Strahl den **wirksamsten Strahl**, weil er in der That die grösste Wirkung im Auge hervorbringt oder den **Lichteindruck auf der Netzhaut** bedingt.

Dieser Strahl ist durch die Bedingung $\partial^2\alpha'' = 0$ folgendermaassen zu bestimmen.

Für die gewöhnlichen Fälle genügt die Voraussetzung, dass das einfallende Strahlenbündel parallel, also α konstant sei, weil schon bei mässigen Sehweiten wegen der Kleinheit der Pupille die Richtungsverschiedenheit der einzelnen Strahlen sehr unbedeutend ist. Differentiirt man für diese Voraussetzung die Grundformeln der vorhergehenden Nummern nach der Hülfsgrösse φ; so ergeben die drei Grundgleichungen (49), (50), (51) folgende neun Formeln

$$\varphi - \alpha = n(\varphi - \alpha')$$

$$\varphi' - \alpha' = n'(\varphi' - \alpha'')$$

$$r\varphi - r'\varphi' = c\alpha'$$

$$n\left(1 - \frac{\partial\alpha'}{\partial\varphi}\right) = 1$$

$$n'\left(\frac{\partial\varphi'}{\partial\varphi} - \frac{\partial\alpha''}{\partial\varphi}\right) = \frac{\partial\varphi'}{\partial\varphi} - \frac{\partial\alpha'}{\partial\varphi}$$

$$r - r'\frac{\partial\varphi'}{\partial\varphi} = c\frac{\partial\alpha'}{\partial\varphi}$$

$$n\frac{\partial^2\alpha'}{\partial\varphi^2} + n(\varphi - \alpha')\left(1 - \frac{\partial\alpha'}{\partial\varphi}\right)^2 = \varphi - \alpha$$

$$n'\left(\frac{\partial^2\varphi'}{\partial\varphi^2} - \frac{\partial^2\alpha''}{\partial\varphi^2}\right) - n'(\varphi' - \alpha'')\left(\frac{\partial\varphi'}{\partial\varphi} - \frac{\partial\alpha''}{\partial\varphi}\right)^2$$
$$= \frac{\partial^2\varphi'}{\partial\varphi^2} - \frac{\partial^2\alpha'}{\partial\varphi^2} - (\varphi' - \alpha')\left(\frac{\partial\varphi'}{\partial\varphi} - \frac{\partial\alpha'}{\partial\varphi}\right)^2$$

$$c\frac{\partial^2\alpha'}{\partial\varphi^2} + r'\frac{\partial^2\varphi'}{\partial\varphi^2}$$
$$= c\alpha'\left(\frac{\partial\alpha'}{\partial\varphi}\right)^2 - r(\varphi - \alpha')\left(1 - \frac{\partial\alpha'}{\partial\varphi}\right)^2 + r'(\varphi' - \alpha')\left(\frac{\partial\varphi'}{\partial\varphi} - \frac{\partial\alpha'}{\partial\varphi}\right)^2$$

Aus den ersten drei dieser Gleichungen ergeben sich für die drei Winkel α', φ', α'' die Werthe

$$\alpha' = \frac{1}{n}\alpha + \frac{n-1}{n}\varphi$$

$$\varphi' = -\frac{c}{nr'}\alpha + \frac{nr - (n-1)c}{nr'}\varphi$$

$$\alpha'' = \frac{r' - (n'-1)c}{nn'r'}\alpha + \frac{n(n'-1)r + (n-1)r' - (n-1)(n'-1)c}{nn'r'}\cdot\varphi$$

Aus den folgenden drei Gleichungen erhält man für die ersten Differentialkoeffizienten $\frac{\partial\alpha'}{\partial\varphi}$, $\frac{\partial\varphi'}{\partial\varphi}$, $\frac{\partial\alpha''}{\partial\varphi}$ die Werthe

$$\frac{\partial \alpha'}{\partial \varphi} = \frac{n-1}{n}$$

$$\frac{\partial \varphi'}{\partial \varphi} = \frac{n r - (n-1) c}{n r'}$$

$$\frac{\partial \alpha''}{\partial \varphi} = \frac{n(n'-1) r + (n-1) r' - (n-1)(n'-1) c}{n n' r'}$$

Die letzten drei Gleichungen ergeben dann für den zweiten Differentialkoeffizienten

$$\frac{\partial^2 \alpha'}{\partial \varphi^2} = \frac{n^2-1}{n^3} (\varphi - \alpha)$$

Die beiden Koeffizienten $\frac{\partial^2 \varphi'}{\partial \varphi^2}$ und $\frac{\partial^2 \alpha''}{\partial \varphi^2}$ nehmen eine ähnliche Form $A\alpha + B\varphi$ an.

Man sieht, die Grössen α' φ', α'' haben die allgemeine Form $A\alpha + B\varphi$ und ihre Differentiale nach φ die konstante Form B. Hieraus folgt, dass die Grössen α', φ', α'' nahezu gleichförmig mit φ variiren. Die Minimen von $\partial\alpha'$, $\partial\varphi'$ und $\partial\alpha''$, also insbesondere das Minimum der Divergenz $\partial\alpha''$ kann also nur einen Werth haben, welcher sich von dem mittleren Werthe von $\partial\alpha''$ verhältnissmässig wenig unterscheidet. Der Werth von φ, für welchen dieses Minimum stattfindet, also der Strahl von kleinster Divergenz wird durch die Gleichung $\frac{\partial^2 \alpha''}{\partial x^2} = 0$, also nach Obigem durch die Gleichung

$$\frac{\partial^2 \alpha''}{\partial \varphi^2} + (\varphi - \alpha) \frac{\partial \alpha''}{\partial \varphi} = 0$$

gefunden. Da $\frac{\partial^2 \alpha''}{\partial \varphi^2}$ und $\frac{\partial \alpha''}{\partial \varphi}$ die Form $A\alpha + B\varphi$ haben; so ist der gesuchte Werth von φ zwar leicht zu entwickeln: derselbe ist jedoch wegen seiner komplizirten Zusammensetzung aus den Grössen r, r' c, n, n' nicht bequem zu gebrauchen.

Man gelangt leichter zu einem, wennauch weniger genauen Werthe durch die Annahme, dass die Beziehung zwischen den beiden Winkeln φ und φ', welche der Übergang des Strahles von der ersten Fläche zur zweiten erzeugt, durch die Näherungsgleichung $r\varphi - r'\varphi' = c\alpha'$ genau gegeben sei, dass man also als erste Differentialgleichung die obige

$$r - r' \frac{\partial \varphi'}{\partial \varphi} = c \frac{\partial \alpha'}{\partial \varphi}$$

und als zweite Differentialgleichung die folgende

$$- r' \frac{\partial^2 \varphi'}{\partial \varphi^2} = c \frac{\partial^2 \alpha'}{\partial \varphi^2}$$

habe.

Hieraus ergiebt sich dann

$$\frac{\partial^2 \varphi'}{\partial \varphi^2} = -\frac{n^2-1}{n^3}\,\frac{c}{r'}\,(\varphi-\alpha)$$

Substituirt man alle gefundenen Werthe in die achte der obigen Gleichungen; so findet sich daraus der Werth von $\frac{\partial^2 \alpha''}{\partial \varphi^2}$.

Lassen wir jetzt die fernere Vereinfachung zu, dass φ die unabhängig Veränderliche sei, nehmen wir also an, dass x und φ gleichförmig variiren, was innerhalb der in Betracht kommenden Grenzen nahezu der Fall ist; so erfordert das Minimum der Divergenz die Bedingung $\frac{\partial^2 \alpha''}{\partial \varphi^2} = 0$. Aus dieser Bedingung entwickelt sich der Werth

$$\varphi = \left\{1 + \frac{n(1-n'^2)e[r-(n-1)e]^2}{-(n^2-1)n'^2r'^2[r'+(1-n')c]+(1-n'^2)[r-(n-1)e]^3}\right\}\alpha$$

und dieser führt vermöge des obigen Ausdruckes für α'' zu der Formel

$$\alpha'' = \left\{1 + \frac{(n-1)(1-n')e\{-(n+1)n'r'[r'+(1-n')c]+(1+n')[r-(n-1)e]^2\}}{-(n^2-1)n'^2r'^2[r'+(1-n')c]+(1-n'^2)[r-(n-1)e]^3}\right\}\alpha$$

Diese Formel ergiebt also den Neigungswinkel α'' des wirksamsten Strahles. Wir erkennen zunächst, dass dieser Strahl im Glaskörper keineswegs dem ausserhalb des Auges liegenden Theile parallel ist, dass also die sogenannten Hauptstrahlen durchaus nicht die wirksamsten sind.

Aus dem Werthe von α'' und dem zugehörigen Werthe von φ geht hervor, dass für Strahlen, welche der Augenaxe parallel sind, für welche also $\alpha = 0$ ist, auch $\varphi = 0$ und $\alpha'' = 0$ ist: der wirksamste Strahl eines axialen Bündels liegt also in der Augenaxe selbst.

Ferner erkennt man, dass wenn $e = 0$ oder $c = r - r'$ ist, d. h. wenn die Krümmungsmittelpunkte der ersten und zweiten brechenden Fläche zusammenfallen, $\varphi = \alpha$ und $\alpha'' = \alpha$ ist. Besteht also das optische System aus einer Kugelschale oder aus einer Hohlkugel oder aus einer Vollkugel; so ist der wirksamste Strahl derjenige, welcher durch jenen Krümmungsmittelpunkt geht oder auf den brechenden Flächen normal steht.

Auch wenn der zweite Brechungskoeffizient $n' = 1$ ist, wenn also das zweite Medium dieselbe Brechbarkeit hat wie das erste, wird $\varphi = \alpha$, $\alpha'' = \alpha$. Dieser Fall entspricht demjenigen, wo nur ein einziges Medium gegeben ist, und wir bemerken bei dieser Gelegenheit, dass Formeln, welche sich auf ein System von brechenden Medien und Flächen beziehen, sofort für ein anderes System gelten, welches die eine oder die andere Fläche weniger enthält, wenn man den betreffenden Brechungskoeffizienten gleich 1 setzt.

Im Übrigen erfordert die Gleichheit der Neigung des inneren und äusseren Theiles des wirksamsten Strahles die Erfüllung der Bedingung

$$(1+n')[r-(n-1)e]^2 = (n+1)n'r'[r'+(1-n')c]$$

Für unser vereinfachtes Auge, wo diese Bedingung nicht erfüllt ist, hat man $r = 8$, $r' = -5$, $c = 7$, $e = -6$, $n = 1{,}4$, $n' = 0{,}926$

und es ergiebt sich $\varphi = 0{,}52\,\alpha$ und $\alpha'' = 0{,}895\,\alpha$. Der wirksamste Strahl trifft die Vorderfläche der Linse in einem tieferen Punkte als der auf dieser Fläche normal stehende Strahl, für welchen $\varphi = \alpha$ ist, er trifft dieselbe sogar in einem tieferen Punkte, als der in No. 9 betrachtete Hauptstrahl, für welchen $\varphi = 0{,}76\,\alpha$ gefunden ist. Der wirksamste Strahl neigt sich im Glaskörper schwächer gegen die Sehaxe, als ausserhalb des Auges. Der Winkel, unter welchem das Netzhautbild im vereinfachten Auge sich bildet, beträgt nur 0,895 des eigentlichen Sehwinkels.

Hiernach muss man zwischen einem äusseren und inneren Sehwinkel unterscheiden. Der Scheitel des äusseren Sehwinkels bildet den vorderen Knotenpunkt und der Scheitel des inneren Sehwinkels den hinteren Knotenpunkt. Der vordere Knotenpunkt liegt in der Linse in dem Abstande $\varkappa = \frac{r\varphi}{\alpha} = \frac{8\,.\,0{,}52\,\alpha}{\alpha} = 4{,}16$ Millimeter von der Vorderfläche. Der hintere Knotenpunkt liegt im Glaskörper in der Entfernung $\varkappa' = \frac{-r\varphi'}{\alpha''}$ oder da man $\varphi' = 0{,}376\,\alpha$ findet, in der Entfernung $\varkappa' = \frac{5\,.\,0{,}376\,\alpha}{0{,}895\,\alpha} = 2{,}1$ Millimeter von der Hinterfläche der Linse.

Wir müssen jedoch darauf hinweisen, dass sich diese Zahlen auf das vereinfachte Auge beziehen. Im wirklichen Auge wird der hintere Knotenpunkt vielleicht sehr nahe im Pole der Hinterfläche der Linse liegen.

Man erkennt, dass das Netzhautbild, vom hinteren Knotenpunkte aus gesehen, dem Objekte, vom vorderen Knotenpunkte aus gesehen, geometrisch ähnlich ist, wenngleich der innere Sehwinkel nur 0,895 des äusseren beträgt, da diese Reduktion in demselben Verhältnisse für alle Winkel stattfindet.

Dass der wirksamste Strahl das Auge in einem Punkte trifft, welcher der Mitte der Pupille möglichst nahe gerückt ist, hat einen praktischen Nutzen in der Weise, dass dadurch das Gesichtsfeld vergrössert wird, welches noch von seinen Grenzen aus wirksame Strahlen ins Auge senden kann. Wenn die Pupille am grössten ist, also etwa den Durchmesser von 6 Millimeter hat, kann das Gesichtsfeld, welches noch wirksame Strahlen ins Auge schickt, einen Winkel umspannen, dessen Tangente $\frac{6}{\varkappa} = \frac{6}{4} = 1{,}5$ ist, und wenn sich die Pupille auf 1 Millimeter kontrahirt hat, behält diese Tangente noch den Werth von $^1/_4$.

Das Wichtigste der vorstehenden Rechnung sowohl für die physikalische, als auch für die physiologische Optik liegt übrigens darin, dass der innere Sehwinkel eines Linsensystems dem äusseren nicht unbedingt gleich ist und dass jener Winkel von den optischen Eigenschaften des Systems abhängt, dass also jedes System sein eigenthümliches Werthverhältniss zwischen jenen beiden Winkeln hat und dass dieses Verhältniss mit den optischen Eigenschaften variirt.

Wenn man den Ausdruck von α'' für die einzelnen Grössen r, r' c, n, n' differentiirt und alsdann in die Differentialkoeffizienten (welche on ihren quadratischen, überhaupt von allen entschieden positiven Fakoren und Divisoren befreit werden können) die gegebenen Werthe für as vereinfachte Auge substituirt (worunter r' und e negativ sind); so zeigt ch, dass der innere Sehwinkel wächst, wenn die absoluten Werthe on r', c und n' grösser oder die von r und n kleiner werden, wogegen ener Winkel abnimmt, wenn r', c und n' kleiner oder r und n grösser erden.

Wird also bei der Kontraktion der Linse r, r', c und n' kleiner und grösser; so bewirken die Veränderungen von r' c, n und n' eine Verleinerung und nur die von r eine Vergrösserung des inneren Sehwinkels, ogegen bei der Expansion der Linse, wo r, r', c und n' grösser und n leiner wird, die Veränderungen von r', c, n und n' eine Vergrösserung nd nur die von r eine Verkleinerung bewirkt.

Verhältnissmässig unbedeutend ist der Einfluss von c, weil diese rösse (die Dicke der Linse) sich am wenigsten ändern kann. Bei solchen ormveränderungen der Linse, welche vornehmlich an deren Rande or sich gehen, ohne die Krümmung an den Polen sehr zu alteriren, ird auch der Einfluss von r' unbedeutend, weil die wirksamsten Strahlen ie Hinterfläche der Linse nahezu in deren Pole treffen. Für solche eränderungen bewirkt also die stärkere Wölbung der Ränder ine Vergrösserung und die stärkere Verdichtung der Linse eine erkleinerung des inneren Sehwinkels, wogegen die schwächere Völbung der Ränder eine Verkleinerung und die Verdünnung er Linse eine Vergrösserung dieses Winkels bewirkt. Paarte sich also tärkere Wölbung an den Rändern mit Verdünnung oder doch it einer unbedeutenden Verdichtung; so würde entschieden Vergrösseung des inneren Sehwinkels der Erfolg sein.

Die Wölbungen und Dichtigkeiten der brechenden Medien des Auges edingen nach Vorstehendem den Werth des Koeffizienten k, welcher in er Formel $\alpha'' = k \cdot \alpha$ das Verhältniss des inneren Sehwinkels um äusseren ausdrückt. Mit den Veränderungen dieser Wölbungen nd Dichtigkeiten ist eine Veränderung von k verbunden. Es ist möglich, ass im wirklichen Auge der Koeffizient k, welchen wir für das verinfachte Auge $= 0{,}895$ gefunden haben, sehr nahe $= 1$ ist, sodass ie wirksamsten Strahlen mit den Hauptstrahlen zusammenfallen. s ist auch möglich, dass diejenigen normalen Veränderungen der Wölungen und Dichtigkeiten, welche durch die Akkommodation des uges auf verschiedene Sehweiten bedingt sind, nur einen höchst unbeeutenden Einfluss auf jenen Koeffizienten haben, sodass derselbe unter olchen normalen Verhältnissen nahezu konstant ist. So viel ist gewiss, ass unter normalen Verhältnissen der wirksamste Strahl von dem Iauptstrahle, der innere Sehwinkel vom äusseren nicht bedeutend bweichen kann, auch dass unter solchen Umständen die Identität beider ür alle Sehweiten nicht erheblich alterirt wird. Für solche Vorausetzungen ist es mithin erlaubt, den Ausdruck Hauptstrahlen für die wirkamsten Strahlen und den äusseren Sehwinkel als Maass des inneren zu ebrauchen, ebenso wie es im Interesse der Kürze der Ausdrucksweise

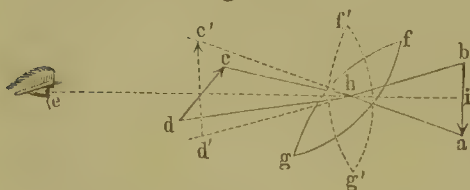
gestattet sein wird, vom Kreuzungspunkte der Hauptstrahlen zu reden, wiewohl statt dessen streng genommen ein vorderer Knotenpunkt für den äusseren und ein hinterer Knotenpunkt für den inneren Strahltheil in Betracht kömmt.

Wesentlich aber bleibt immer, dass in ungewöhnlichen Fällen der wirksamste Strahl von dem Hauptstrahle oder der innere Sehwinkel von dem äusseren erheblich abweichen kann.

18. Verschiebung, Verdrehung und Verzerrung der optischen Bilder. — Abweichung und Aberration der wirksamsten Strahlen. — Exzentrische Linsen. Eine weitere Ausdehnung der optischen Formeln dürfte die natürlichen Grenzen dieses Buches überschreiten. Wir begnügen uns daher, einige Resultate, welche für unsere späteren Untersuchungen von Interesse sind, ohne speziellen Nachweis hinzustellen. Dieselben betreffen die Fälle, wo die Lichtstrahlen das Linsensystem entweder in so schräger Richtung oder so nahe am Rande, überhaupt also mit so erheblicher Abweichung oder Entfernung von der Axe durchdringen, dass die Formeln der vorstehenden Nummern zu sehr von der Wahrheit abweichen, um noch als Näherungsformeln gelten zu können. Die von den Objekten unmittelbar ausgehenden Strahlen, welche noch innerhalb des Bezirks des deutlichen Sehens die Netzhaut treffen, haben niemals eine so bedeutende Abweichung gegen das Linsensystem des Auges; die gedachten Strahlen werden daher erst wichtig für die Erscheinungen, welche durch Linsensysteme ausserhalb des Auges erzeugt werden.

Wenn fg (Fig. 68) eine Sammellinse und ab ein ausserhalb der Brennweite stehendes Objekt ist; so sei $c'd'$ das wirkliche Bild von ab für den Fall, dass die Axe der Linse in der Linie hi liegt oder die Linse gerade vor dem Objekte steht. Je mehr sich nun die Linse neigt, desto kleiner wird das Bild cd und desto mehr neigt sich dasselbe gegen die Linie hi in dem Sinne der Linse, auch hebt sich desto mehr der Mittelpunkt des Bildes.

Fig. 68.



Nennen wir ahb den Sehwinkel des Objektes und chd den Sehwinkel des Bildes von der Linse aus; so nimmt also der Sehwinkel des Bildes ab, wenn die Neigung der Linse zunimmt. Der Sehwinkel des Bildes ist hier Dasselbe, was nach No. 17 für das Auge der innere Sehwinkel ist; man sieht also, dass das Verhältniss des inneren Sehwinkels zum äusseren nur für die wenig abweichenden Strahlen konstant bleibt, dass sich dasselbe aber mit der Abweichung der Strahlen von der Axe der Linse immer mehr verkleinert.

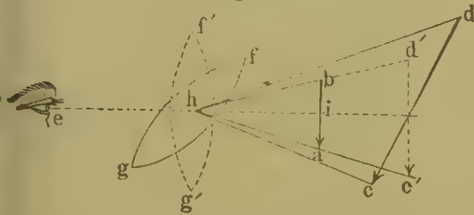
Diese Verkleinerung der Bilder findet nicht bloss in der Dimension statt, welche in der Ebene des Papiers liegt, sondern auch in der auf

ieser Ebene normal stehenden Dimension, überhaupt in allen Dimenonen.

Mit der Neigung der Linse dehnt sich also ihr Sehfeld aus und ie darin liegenden Objekte drängen von allen Seiten immer mehr auf ie Mitte ein.

Liegt das Objekt ab nach Fig. 69 innerhalb der Brennweite; so ömmt das virtuelle Bild cd in Betracht. Ist $c'd'$ das virtuelle Bild

Fig. 69.



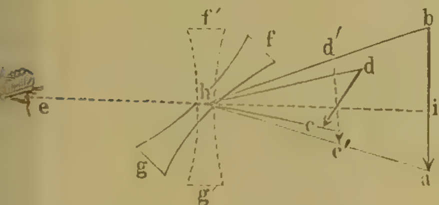
für die gerade Stellung der Linse; so hat das Bild cd für die schiefe Stellung der Linse einen grösseren Sehwinkel und neigt sich im Sinne der Linse; der Mittelpunkt des Bildes rückt hinauf.

Unter diesen Verhältnissen atfernen sich die Objekte scheinbar von der Mitte der Linse, ihr Sehld wird kleiner. Hiernach nimmt das Verhältniss des inneren Sehinkels zum äusseren mit der Abweichung der Strahlen von der Axe der inse zu.

Der Werth des inneren Sehwinkels ist nach diesem und dem vorehenden Resultate bei derselben Abweichung des Hauptstrahles on der Axe der Linse noch durch die Entfernung des Objektes edingt. Für unendlich entfernte Objekte ist dieser Sekwinkel am kleinen und kleiner als der äussere; er nimmt zu, wenn das Objekt sich ihert; für die Entfernung des Brennpunktes wird er dem äusseren eich; für kürzere Entfernungen, wo es sich um ein virtuelles Bild hanlt, übersteigt er den äusseren Sehwinkel. Für die wenig abweichenden rahlen hat der innere Sehwinkel nach No. 17 ein nahezu konstantes erhältniss zum äusseren; streng genommen findet aber selbst r solche Strahlen mit der Annäherung des Objektes eine eringe Vergrösserung des inneren Sehwinkels statt.

In Fig. 70 ist der Fall einer Zerstreuungslinse dargestellt, elche nur virtuelle Bilder erzeugt. Ist $c'd'$ das virtuelle Bild des Objek-

Fig. 70.



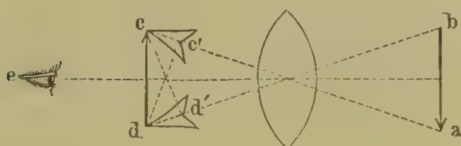
tes ab für die gerade Stellung der Linse; so verkleinert sich das Bild cd immer mehr, je schiefer sich die Linse stellt und neigt sich zugleich in der Richtung der Linse; der Mittelpunkt des Bildes rückt herab. Die Objekte dringen also bei der Neigung der Linse auf die Mitte ein, ihr Sehfeld vergröst sich, der innere Sehwinkel nimmt immer mehr ab.

In den vorstehend betrachteten Erscheinungen tritt die Wichtigkeit r in No. 17 gemachten Unterscheidung der wirksamsten Strahlen n den gewöhnlichen Hauptstrahlen deutlich hervor. Wären die auptstrahlen, nämlich die Strahlen, welche jenseit der Linse in der-

selben Richtung austreten, mit welcher sie eintreten, die maassgebenden; so wäre eine Verkleinerung oder Vergrösserung des Sehwinkels des Bildes, also überhaupt keine namhafte Grössenveränderung des bei der Neigung der Linse nahezu an demselben Orte verharrenden Bildes möglich. Man kann sich aber leicht überzeugen, dass diese Grössenveränderung sehr bedeutend ist.

Wenn man sich ausser den Konvergenzpunkten c, d der wirksamsten Strahlen (Fig. 71) auch die Durchschnittspunkte aller übrigen Strahlen desselben Bündels vergegenwärtigt; so treten als Wirkung der Aberration an die Stelle jener Punkte die in No. 14 beschriebenen Brennkörper cc', dd'.

Fig. 71.



Es kann nun Umstände geben, unter welchen sich in dem einen oder anderen Brennkörper ein Durchschnittspunkt vor dem in der Spitze liegenden durch grössere Lichtintensität auszeichnet, sodass der unter normalen Verhältnissen wirksamste Punkt unter abnormen Verhältnissen seine Rolle an einen anderen Punkt des Brennkörpers abtritt. Die Ursachen hierzu können theils in der nicht homogenen Beschaffenheit oder Krümmung der Linse, theils in der Strahlung des Objektes, theils auch in physiologischen Kontrastwirkungen liegen und mit der Stellung der Linse sich ändern. Diess bewirkt, dass die Linsenbilder bei der Drehung der Linse und auch unter anderen Umständen zuweilen eine von der obigen etwas abweichende Bewegung anzunehmen scheinen.

Wenn die Linse $f'g'$ nicht gedreht, sondern nach fg parallel verrückt wird (Fig. 72); so folgt das wirkliche oder virtuelle Bild $c'd'$

Fig. 72.

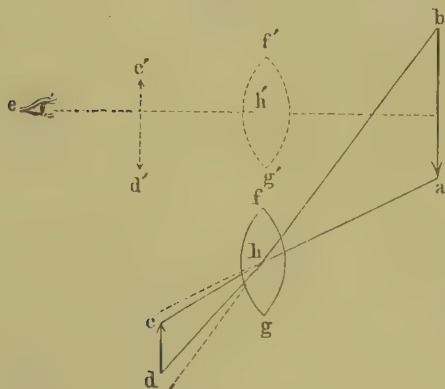
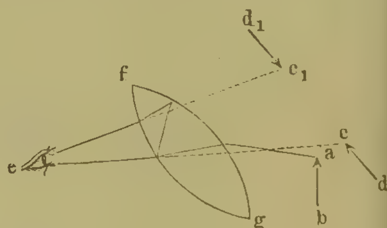


Fig. 73.



dieser Bewegung, indem es sich zugleich nach den vorstehenden Sätzen ein wenig verdreht und seine Grösse ändert.

Die stark verdrehte Linse fg (Fig. 73) kann sogar zwei virtuelle Bilder von dem Objekte ab erzeugen, das gewöhnliche cd und das aussergewöhnliche $c_1 d_1$, welches letztere denjenigen wirksamen Strahlen entspricht, welche vor ihrem Austritte an den beiden Flächen der Linse reflektirt sind.

Die im Vorstehenden betrachtete Verschiebung und Verdrehung der optischen Bilder beruht auf einer Ablenkung resp. Ver-

drehung der wirksamsten Strahlen. Diese Strahlen erleiden aber, je schräger oder je näher am Rande sie auf die Linse fallen, noch eine dritte Veränderung, welche darin besteht, dass sie sich nicht in einunddemselben Knotenpunkte durchkreuzen. Diese Auflösung des Knotenpunktes in einen Knotenkörper kann man die Aberration der wirksamsten Strahlen nennen. Sie hat eine Verzerrung des optischen Bildes zur Folge. Rückt der Knotenpunkt *f* der steileren oder äusseren wirksamsten Strahlen über den Kreuzungspunkt *e* der inneren Strahlen hinaus (Fig. 74); so dehnt sich das Bild in den seinem Umfange näher liegenden Punkten mehr aus: rückt dagegen der Knotenpunkt der äusseren wirksamsten Strahlen einwärts (Fig. 75); so zieht sich das Bild am Umfange zusammen.

Fig. 74.

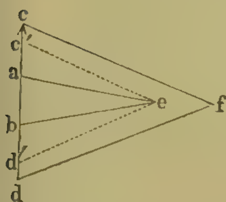
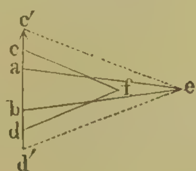


Fig. 75.



Ein Linsenbild *c d*, sei es ein wirkliches (Fig. 76) oder ein virtuelles (Fig. 77), hat die Eigenschaften eines leuchtenden Objektes nur innerhalb

Fig. 76.

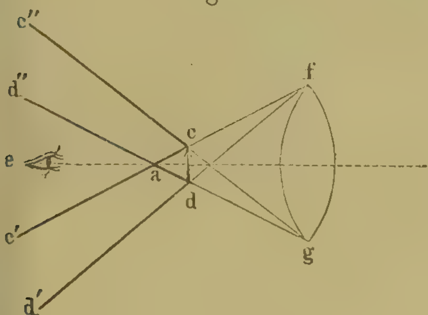
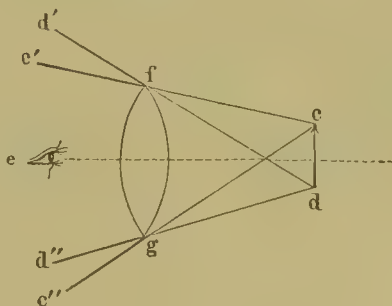


Fig. 77.

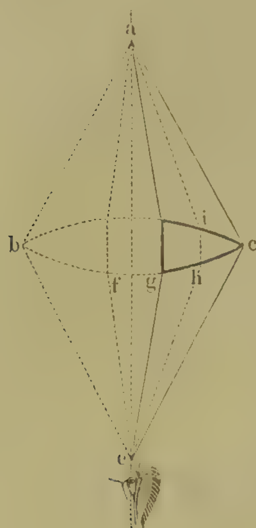


der Grenzen der Strahlenkegel, deren Spitzen die einzelnen Punkte jenes Bildes sind und deren gemeinschaftliche Basis die Linse *f g* ist. Der Punkt *c* leuchtet nur in dem Kegel *c′ c c″* und der Punkt *d* nur in dem Kegel *d′ d d″* und bei dem virtuellen Bilde (Fig. 77) nur vor der Linse. Damit also das Auge *e* dieses Bild *c d* sehen könne, muss es sich stets vor der Linse und in dem Raume *c′ d″* befinden. In dem Raume *c″ d″* sieht das Auge nur den oberen Theil, in dem Raume *c′ d′* nur den unteren Theil des Bildes. Befindet sich das Auge ausserhalb des Raumes *c″ d′*; so kann es von dem Bilde Nichts mehr sehen.

In dem Bilde *e* des Punktes *a* (Fig. 78 a. f. S.) konzentriren sich (abgesehen von der Aberration) alle Strahlen, welche, von *a* ausgehend, in der Linse *b c* gebrochen werden. Der Bildpunkt *e* behält also immer denselben Ort, gleichviel ob die Linse mit ihrer ganzen Öffnung *b c* oder ob davon nur ein Stück wie *c g* wirkt. Wenngleich nun der Bildpunkt hierbei unverändert bleibt; so ist Diess doch nicht mit der mittleren Richtung des in diesem Punkte sich durchkreuzenden Strahlenbündels der Fall. Für die volle und überhaupt für jedes konzentrische Linsenstück *f g* ist die Axe *a e* der Linse zugleich die Axe des ein-

tretenden Strahlenbündels afg und des austretenden Strahlenbündels efg. Für ein exzentrisches Linsenstück wie cg dagegen nimmt die Axe he des austretenden Strahlenbündels eine Neigung hea gegen die Axe ae der Linse und auch eine Neigung gegen die Axe ai des eintretenden Strahlenbündels an.

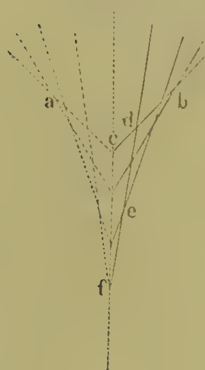
Fig. 78.



Durch eine exzentrische Linse werden also die Strahlenbündel agc, welche von dem leuchtenden Punkte a ausgehen, abgelenkt.

Wir haben in No. 17 die wirksamsten Strahlen durch die Bedingung bestimmt, dass ihre Konvergenz ein Minimum sei. Es kann sich nun ereignen, dass das analytische Minimum einer Strahlenrichtung angehört, welche ausserhalb der Öffnung der Linse liegt. Ist die Linse konzentrisch; so tritt dieser Fall zwar nicht bei Strahlenbündeln ein, welche sich nur wenig gegen die Axe der Linse neigen, er findet aber bei sehr schrägen Strahlenbündeln statt. Ist die Linse so weit exzentrisch, wie cg, dass sie ganz auf einer Seite der Axe ae liegt; so findet der eben bezeichnete Fall immer statt. Die wirksamsten Strahlen sind alsdann nicht durch die analytische Minimalkonvergenz, sondern durch die absolut kleinste Konvergenz bestimmt, welche innerhalb der Grenzen der Linse vorkömmt. Für die ganz exzentrische Linse cg ist für jedes Bündel der der Axe zunächst liegende Strahl agc der wirksamste.

Fig. 79.



In einem solchen Falle wird der aus der Aberration entstehende Brennkörper unvollständig. Während $acbf$ (Fig. 79) den vollständigen Brennkörper für die volle Linse darstellt, ist bde der für die exzentrische Linse übrig bleibende Theil dieses Körpers.

Während eine konzentrische Linse durch das optische Bild nur eine scheinbare Veränderung der Grösse und Entfernung ohne wesentliche Veränderung der Richtung hervorbringt, und während ein Prisma nur eine scheinbare Veränderung der Richtung ohne wesentliche Veränderung der Grösse und Entfernung erzeugt; so bewirkt die exzentrische oder prismatische Linse gleichzeitig eine Veränderung der Grösse, Entfernung und Richtung.

19. Bedeutung der wirksamsten Strahlen für die physikalische Optik. Die im Vorstehenden betrachteten wirksamsten Strahlen haben eine besondere Bedeutung für viele Erscheinungen in der Natur, namentlich für solche, welche ihre Entstehung einer Anhäufung von Körpern verdanken, von denen jeder ein optisches System von brechenden und reflektirenden Medien darstellt, wie es z. B. bei einer Anhäufung von

Wassertropfen oder Blasen in der Luft bei Regen und Nebel der Fall ist. Jeder Elementarkörper wird vornehmlich durch diejenigen ihn durchdringenden Sonnenstrahlen sichtbar sein, welche nach dem Durchgange die geringste Divergenz zeigen. Die Aneinanderreihung dieser Elemente der Erscheinung erzeugt besondere Phänomene wie Regenbogen und dergleichen.

Für die Anwendung auf solche Phänomene und als Ergänzung der vorstehenden allgemeinen Betrachtung muss noch hervorgehoben werden, dass es in manchen optischen Systemen mehrere Richtungen giebt, in welchen die Divergenz ein Minimum oder $\partial^2 \alpha'' = 0$ wird.

Unter Umständen kann es sich sogar ereigenen, dass die Divergenz der austretenden Strahlen null oder dass $\partial \alpha'' = 0$ wird, d. h. dass zwei Nachbarstrahlen in parallelen Richtungen austreten. Diess ist offenbar der absolut geringste Grad von Divergenz, der denkbar ist, und wo derselbe stattfindet, erzeugen sich sehr wirksame Strahlen, vorausgesetzt nur, dass der austretende Strahl Intensität behält, dass also der Abstand der beiden eintretenden Nachbarstrahlen, welche parallel austreten, sich nicht auf null reduzirt, weil es sich in diesem Falle nicht um wirksame, sondern um ganz unwirksame Strahlen handeln würde.

Der Parallelismus der austretenden Nachbarstrahlen oder die Beziehung $\partial \alpha'' = 0$ findet statt, wenn der Neigungswinkel α'' des austretenden Strahles gegen irgend eine feste Axe ein Maximum oder ein Minimum erreicht.

Die Bedingung $\partial \alpha'' = 0$ gestattet eine weit einfachere Untersuchung, als die Bedingung $\partial^2 \alpha'' = 0$. Dieselbe lässt sich in vielen Fällen auch streng, ohne Abkürzung der Grundformeln behandeln. Es ist auch wichtig, dass zur Untersuchung der Bedingung $\partial \alpha'' = 0$ jede beliebige der Grundgrössen x, α, φ zur unabhängig Veränderlichen genommen werden kann. Denn nimmt man z. B. φ zur unabhängig Veränderlichen, setzt also $\frac{\partial \alpha''}{\partial \varphi} = 0$; so wird auch $\frac{\partial \alpha''}{\partial x} = \frac{\partial \alpha''}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x} = 0$ und auch $\frac{\partial \alpha''}{\partial \alpha} = \frac{\partial \alpha''}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \alpha} = 0$ sein. Nur in dem besonderen Falle wäre dieser Schluss zweifelhaft, wo das Differential von φ nach der wirklichen Unabhängigen, z. B. nach x, wo also die Grösse $\frac{\partial \varphi}{\partial x}$ für den besonderen Werth, welcher die Bedingung $\frac{\partial \alpha''}{\partial \varphi} = 0$ erfüllt, unendlich gross würde. Diess ist der schon vorstehend bezeichnete Fall, wo dem Differentiale $\partial \varphi$ der Werth $\partial x = 0$ entspricht, wo also das austretende Strahlenbündel gar keine Intensität haben kann. Ein solcher Fall kömmt z. B. vor, wenn Strahlen sich durch eine kugelförmige Linse brechen: die Tangentialstrahlen treten zwar parallel aus, haben aber keine Kraft.

20. Mathematische Bestimmung der Form und Brechbarkeit der einzelnen Organe des Auges. Die Untersuchungen dieses Paragraphen setzen uns nun in den Stand, die Akkommodationsgesetze in einer genauen Weise zu begründen. Der Zweck der Akkommoda-

tion ist die genaue Konzentration der Lichtbündel auf der Netzhaut. Da aber der Weg, welchen ein Lichtstrahl im Auge annimmt, lediglich von den Formen, Dimensionen und optischen Eigenschaften der brechenden Mittel abhängt, also durch mathematische Gesetze vorgeschrieben ist, nachdem die Pupillenweite gegeben ist; so gelangt man zu dem Schlusse, dass zur Erreichung jenes Zweckes nur bestimmte Formen, Dimensionen und optische Eigenschaften der brechenden Mittel dienen können, dass sich also alle diese Eigenschaften des Auges für ein gegebenes Object, sowie alle Veränderungen, welche mit der Veränderung des Objectes eintreten, durch mathematischen Kalkul von vorn herein feststellen lassen.

Um diese für die Physiologie gewiss interessante Thatsache näher zu begründen, wollen wir untersuchen, wie viel Gleichungen sich aus den wesentlichen Bedingungen des deutlichen Sehens ergeben, wie viel wesentliche Grössen also durch diese Bedingungen bestimmt werden können und bestimmt werden müssen.

Dass die Oberflächen der brechenden Medien Rotationsflächen sein müssen, um für die ringsum seitwärts von der Sehaxe liegenden Punkte gleich gut wirken zu können, leuchtet ein: welche Form jedoch die erzeugende Kurve besitzen müsse, ist von vorn herein nicht bekannt und ein Gegenstand der rechnungsmässigen Bestimmung: wir beginnen daher mit der Voraussetzung kugelförmiger Flächen.

Hiernach sei in Beziehung auf das erste brechende Medium r der Radius der Vorderfläche, n der Brechungskoeffizient der rothen Strahlen für den Übergang aus der vor der ersten Fläche befindlichen Substanz in die hinter dieser Fläche befindliche, $n + \delta$ der Brechungskoeffizient für die violetten Strahlen, also δ die Dispersion dieses Mediums, c die Dicke dieses Mediums zwischen den Polen der Vorder- und Hinterfläche. Für das zweite Medium haben diese Grössen die Werthe r', n', δ', c', für das dritte die Werthe r'', n'', δ'', c'' und so fort.

Die Form der Hinterfläche des letzten Mediums, also die Form der Netzhaut, wo keine Brechung, sondern nur noch Konzentration der Strahlenbündel stattfindet, kann nicht durch die in Rede stehenden dioptrischen Gleichungen, sondern nur dadurch bestimmt werden, dass sie die Brennpunkte aller geneigten Strahlenbündel aufnehme, welche von einem ausgedehnten Objekte ausgehen. Da von dieser Fläche immer nur ein äusserst kleiner Theil rings um den Pol in Betracht kömmt, indem alle scharfen Bilder von Objekten nur sehr klein sein können, ein kleiner Theil um den Pol einer Rotationsfläche aber immer als Kugelfläche (Theil der Krümmungskugel) erscheint; so leuchtet ein, dass die Form der Hinterfläche des letzten Mediums in der Nähe des Poles immer durch die besondere Bedingung bestimmt ist, dass sie eine Kugelfläche sei, deren Mittelpunkt in dem Kreuzungspunkte der Hauptstrahlen liegt. Hiernach wird allerdings die Form der Netzhaut oder vielmehr die Krümmung derselben in der Nähe der Augenaxe eine Funktion der vorstehenden Grössen: dieselbe bestimmt sich aber durch eine besondere Gleichung, welche ausdrückt, dass sie der um den Kreuzungspunkt beschriebenen Kugel angehöre.

Das Objekt, welches deutlich gesehen werden soll, liege in der Entfernung a vor dem Auge. Dasselbe sei kein Punkt, sondern eine auf der Sehaxe normal stehende kreisförmige Scheibe. Nimmt man den Mittelpunkt des Auges zur Spitze und das Objekt zur Basis eines Kegels; so habe der Neigungswinkel der Seitenlinien desselben gegen die Axe den Werth α.

Die Öffnung der Pupille entspreche auf der um den Mittelpunkt des Auges beschriebenen Kugel einem Zentrumswinkel 2φ, sodass φ der Neigungswinkel eines nach dem Pupillenrande gezogenen Radius gegen die Sehaxe ist.

Betrachten wir zunächst die rothen Strahlen, welche von dem in der Sehaxe liegenden Mittelpunkte des Objektes ausgehen. Dass die von diesem Punkte kommenden Zentralstrahlen im Pole der Hinterfläche des letzten Mediums konvergiren, liefert auf Grund der betreffenden geometrischen Konstruktion eine Gleichung von der Form

$$F_1\ (a, r, n, c, r', n', c', r'', n'', c'' \ldots) = 0$$

Für die Forderung, dass auch die von jenem Punkte kommenden Randstrahlen in demselben Punkte konvergiren, erhält man eine ähnliche Gleichung

$$F_2\ (a, \varphi, r, n, c, r', n', c', r'', n'', c'' \ldots) = 0$$

F_1 geht aus F_2 hervor, indem man in letzterer $\varphi = 0$ setzt.

Betrachten wir jetzt die rothen Strahlen, welche von dem höchsten vertikal über dem Mittelpunkte liegenden Punkte des Objektes ausgehen und in einer Vertikalebene liegen. Damit die von diesem Punkte kommenden Zentralstrahlen in einem Punkte konvergiren, welcher der um den Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen beschriebenen Kugelfläche angehört, muss eine Gleichung von der Form

$$F_3\ (a, \alpha, r, n, c, r', n', c', r'', n'', c'' \ldots) = 0$$

erfüllt sein. Damit dasselbe aber auch für die Randstrahlen stattfinde, damit also auch der von jenem Punkte nach dem obersten Punkte der Pupille und der nach dem untersten Punkte der Pupille führende Strahl auf der Netzhaut einen gemeinschaftlichen Brennpunkt haben, muss sich eine Gleichung von der Form

$$F_4\ (a, \alpha, \varphi, r, n, c, r', n', c', r'', n'', c'' \ldots) = 0$$

erfüllen.

Zur vollständigen Konzentrirung der von dem fraglichen Punkte ausgehenden Strahlen müssen aber auch diejenigen Rand- und Zentralstrahlen in denselben Punkt der Netzhaut geführt werden, welche von jenem Punkte aus durch Punkte des horizontalen Durchmessers der Pupille gehen. Diess giebt wiederum zwei Gleichungen resp. für die Zentralstrahlen und für die Randstrahlen von der Form

$$F_5\ (a, \alpha, r, n, c, r', n', c', r'', n'', c'' \ldots) = 0$$

$$F_6\ (a, \alpha, \varphi, r, n, c, r', n', c', r'', n'', c'' \ldots) = 0$$

Wenn diese Bedingungen für den höchsten Punkt des kreisför-

migen Objektes erfüllt sind, erfüllen sie sich von selbst für jeden Punkt der Peripherie des Objektes.

Wir haben also zur Beseitigung der sphärischen Aberration für einen einfachrothen Strahl 6 Gleichungen erhalten. Ebenso viel erhält man für einen einfach violetten Strahl, indem man in den vorstehenden Gleichungen

$$n, n', n'' \ldots \quad \text{mit} \quad n + \delta, n' + \delta', n'' + \delta'' \ldots$$

vertauscht. Durch Erfüllung dieser letzten 6 Gleichungen neben den ersten 6 wird also auch die chromatische Aberration aufgehoben.

Die Bedingung des scharfen Sehens erfordert also immer 12 optische Gleichungen, gleichviel wie gross die Anzahl der brechenden Medien sei.

In diesen Gleichungen ist die Entfernung a sowie die Grösse des Objektes oder der Winkel α gegeben.

Der Winkel φ oder die Pupillenweite ist nicht ausschliesslich durch die Bedingung der Konzentration der Lichtstrahlen, also nicht ausschliesslich durch mathematische Gesetze zu bestimmen. Der Organismus regulirt die Pupille in der Absicht, einen zu starken Lichtreiz zu verhüten und einen zu schwachen durch Zulassung eines grösseren Strahlenbündels auf die Höhe des zum deutlichen Sehen erforderlichen Maasses zu erheben. Der Nervenreiz beeinflusst also die Pupille: der Winkel φ ist demnach eine Funktion der absoluten Lichtintensität des Objektes und der Entfernung a. Diese Funktion drückt sich natürlich, wenn i die Lichtintensität (Schwingungsamplitude) des Objektes bedeutet, durch eine Gleichung von der Form

$$F_{13}(a, \alpha, \varphi, i) = 0$$

aus: allein die Ableitung dieser Gleichung kann nicht ausschliesslich durch mathematische, sondern wesentlich nur unter Berücksichtigung physiologischer Gesetze erfolgen. Ausserdem ist diese Funktion abhängig von der Helligkeit des Gesichtsfeldes rings um das Objekt herum; und φ ist wesentlich bedingt durch das Gesammtlicht, welches ins Auge fällt.

Zu den obigen 12 optischen Gleichungen gesellt sich also noch eine 13te physiologische Gleichung, in welcher die Lichtstärke der Hauptfaktor und die Reizbarkeit des Auges das wesentlich bedingende Element ist.

Jetzt haben wir noch hinsichtlich der Dispersionsgrössen δ, δ', δ'' . . . zu bemerken, dass hiervon die dem ersten Medium entsprechende δ immer als eine gegebene angesehen werden muss. Der Werth von δ ist nichts Anderes als der mathematische Ausdruck für den Unterschied zwischen rothen und violetten Strahlen. Ein solcher Unterschied zwischen physischen Dingen, welche zu den geometrischen Grössen unserer Aufgabe in gar keiner mathematischen Beziehung stehen, kann offenbar durch die obigen optischen oder vielmehr rein geometrischen Gleichungen nicht bestimmt werden. Der Werth von δ, d. h. der Brechungsunterschied zwischen den rothen und violetten Strahlen kann nur durch die physische Beschaffenheit des zum ersten Medium be-

nutzten Stoffes bestimmt sein. Wenn Diess geschehen, liefern die obigen Gleichungen den Schluss über die Werthe, welche die Dispersionen $\delta', \delta'' \ldots$ der übrigen Medien im Vergleich zur Dispersion δ des ersten nothwendig haben müssen. Als Unbekannte sind also eigentlich nur die Verhältnisse $\frac{\delta'}{\delta}, \frac{\delta''}{\delta} \ldots$ anzusehen. Wir betrachten daher δ als gegeben und $\delta', \delta'' \ldots$ als gesucht.

Wollte man die Dispersion δ des ersten Mediums nicht als eine gegebene Grösse ansehen; so kann dieselbe nur aus einer Gleichung bestimmt werden, welche den Zusammenhang zwischen dem Dispersionsgesetze dieses Mediums und seiner stofflichen oder chemischen Beschaffenheit ausdrückt, welche also nicht aus rein mathematischen, sondern aus den Prinzipien der Stoffbildung entspringt.

Wie wegen der Lichtstärke des Objektes die 13te Gleichung zur Bestimmung der Pupillenweite hinzugetreten ist; so würde sich bei dieser Behandlung wegen der Farbe des Objektes die 14te Gleichung zur Bestimmung der Dispersion für irgend eines der brechenden Medien ergeben. Der Vollständigkeit wegen wollen wir also auch δ als zu bestimmende Grösse betrachten und die 14te Gleichung aufstellen. Wenn k die Farbe des Objektes, d. h. ein Ausdruck für die Schwingungszahl der Äthervibrationen ist; so stiftet diese Gleichung eine Beziehung zwischen den Grössen n, δ, k auf Grund der stofflichen Eigenschaften des ersten Mediums, hat also die Form

$$F_{14}(n, \delta, k) = 0$$

Während nun nach Vorstehendem bei jeder beliebigen Zahl von brechenden Medien immer dieselbe Anzahl von 14 Bedingungsgleichungen zu erfüllen sind, variirt die Anzahl der zu bestimmenden unbekannten Grössen sehr mit der Zahl der brechenden Medien.

Wäre nur ein Medium vorhanden; so hätte man nur 6 Unbekannte $\alpha, \varphi, r, n, c, \delta$. Da 14 Gleichungen nicht durch 6 Variabele erfüllt werden können; so folgt, dass ein scharfes Sehen mit nur einem Medium unmöglich ist.

Wären zwei Medien vorhanden; so erhielte man die 10 Unbekannten $\alpha, \varphi, r, n, c, \delta, r', n', c', \delta'$. Auch hiermit sind die obigen 14 Gleichungen nicht zu erfüllen: ein scharfes Auge kann also auch nicht mit zwei Medien bestehen.

Für drei Medien erhält man die 14 Unbekannten $\alpha, \varphi, r, n, c, \delta, r', n', c', \delta', r'', n'', c'', \delta''$. Hierdurch sind die 14 Bedingungsgleichungen vollständig zu erfüllen. Mit drei Medien ist also ein scharfes Auge möglich.

Bei mehr als drei Medien würde die Zahl der Unbekannten die der Gleichungen übersteigen: für vier Medien erhielte man schon 18 Unbekannte. Es würden also mehre dieser Grössen willkürlich bleiben. Mehr als drei Medien würden daher eine unnöthige Komplikation des Sehorgans und eine unmotivirte Verschwendung von Mitteln enthalten und schon aus diesem Grunde von der Natur verworfen werden; besonders wichtig aber ist, dass durch diese Komplikation

ein wesentlicher Zweck vereitelt werden würde, welchen wir sogleich näher bezeichnen werden.

Zuvor haben wir noch das Resultat der vorstehenden Rechnung näher zu beleuchten. Bei drei Medien ergeben sich die Dimensionen, Brechungskoeffizienten und Dispersionsverhältnisse der einzelnen Medien des Auges aus rein mathematischen Prinzipien und daneben die Pupillenweite 2φ, sowie die Dispersion δ des ersten Mediums aus Prinzipien der Organisation und der Stoffbildung als Funktionen der Entfernung a des Objektes, der Grösse desselben oder des Winkels α, der Lichtintensität i und der Farbe k desselben.

Hiermit wäre den Bedingungen des scharfen Sehens jedoch nur dann genügt, wenn das Objekt nur aus einer Kreislinie mit ihrem Mittelpunkte bestände. Allgemein müssen diese Bedingungen aber für ein Objekt erfüllt werden, welches eine Kreisfläche bildet, also gleichzeitig für alle Werthe des letzteren Winkels von 0 bis α. Diese Forderung kann nicht mit Kugelflächen realisirt werden. Um dieselbe zu verwirklichen, hat man für die erzeugende Kurve eine allgemeine Gleichung in der Form $y = f(x)$ anzunehmen. Die Bedingung nun, dass die obigen 12 Gleichungen für jeden beliebigen Werth von α gelten sollen, giebt alsdann das bekannte Mittel, die Natur der Funktion $f(x)$ oder die erzeugende Kurve durch Differentialrechnung zu bestimmen.

Es ist jedoch noch einer zweiten allgemeinen Bedingung zu genügen. Die Pupillenweite 2φ bestimmt sich lediglich aus der physikalischen Gleichung $F_{13} = 0$ durch die in das Auge fallende Lichtmenge, also durch ein Element, welches in allen übrigen Gleichungen gar nicht vorkömmt und völlig willkürlich ist, indem ja die Helligkeit des Gesichtsfeldes so gross oder so klein genommen werden kann, als es beliebt. Demgemäss spielt φ selbst in den ersten 12 Gleichungen die Rolle einer willkürlichen Grösse.

Die Willkürlichkeit dieser Grösse φ schliesst aber ebenfalls die Nothwendigkeit in sich, für die erzeugende Kurve der Rotationsflächen eine allgemeine Funktion $y = f(x)$ zu setzen und dieselbe so zu bestimmen, dass sie für jeden beliebigen Werth von φ erfüllt wird.

Die Funktion $y = f(x)$ ist also für die beiden allgemeinen Bedingungen zu bestimmen, dass sie für jeden Werth von α und für jeden Werth von φ gelte, was durch bekannte Methoden geschehen kann.

Möglich, dass durch diese beiden allgemeinen Bedingungen Forderungen an die Natur der Funktion $y = f(x)$ gestellt werden, welche sich durch eine Kurve nicht zweckmässig realisiren lassen. Ob Diess der Fall ist, zeigt sich erst bei der Ausführung der betreffenden Rechnung. Im Allgemeinen muss es sogar vermuthet werden, und man hat Grund zu der Annahme, dass eine jener beiden konstituirenden Bedingungen zur Bestimmung jener Funktion genügen werde. Wenn Diess der Fall ist, so muss noch ein zweiter Bestandtheil des Auges unter ein Gesetz gebeugt werden, welches eine stetige Veränderung seiner Beschaffenheit von Punkt zu Punkt darstellt: wenn diese Annahme aber sich nicht bestätigt, wenn also die Funktion $y = f(x)$ durch eine jener beiden Bedingungen nicht vollständig bestimmt ist, wenn also mehrere Kurven

der einen oder der anderen Bedingung zu genügen vermögen; so kann noch ein zweiter Bestandtheil des Auges unter ein Gesetz der fraglichen Art gebeugt werden, und es ist alsdann damit der Natur die Freiheit gewährt, die erzeugende Kurve unter gewissen Rücksichten der Zweckmässigkeit in Beziehung auf organische Bildung unter der Klasse der zulässigen Kurven zu wählen und die Gesammterfüllung der beiden in Rede stehenden Bedingungen durch die bezeichnete besondere Einrichtung des zweiten Bestandtheiles zu erzielen.

In der That scheint es aus vielen Gründen zweckmässig zu sein, bei der Form der Begrenzungsflächen die Kugelgestalt nicht zu sehr zu verlassen, da sich diese bei den in Folge der Akkommodation nöthig werdenden Veränderungen am leichtesten aufrecht erhalten lässt.

In allen Fällen aber kann es nur nützlich erscheinen, noch einen zweiten Bestandtheil des Auges zu einem Körper mit stetigen Übergängen zu machen. Diess ist denn in der Linse dadurch geschehen, dass dieser Körper aus Schalen von allmählich sich ändernder Form und Dichtigkeit zusammengesetzt ist. Durch diese Einrichtung der Linse und durch die angemessene Wahl der Form der brechenden Oberflächen ist es immer möglich, die obigen beiden allgemeinen Bedingungen zu erfüllen.

Zu einer ähnlichen Betrachtung wie die durch die Lichtstärke bedingte Pupillenweite, giebt auch die durch die Farbe bedingte Dispersion δ Veranlassung. Diese Dispersion bestimmt sich unabhängig von allen übrigen Grössen aus der physikalischen Gleichung $F_{14} = 0$, spielt also in den anderen Gleichungen die Rolle einer Willkürlichen. In der That müssen jene Gleichungen für jeden beliebigen Werth von δ gelten. Das thun sie auch: δ bleibt für die ersteren 12 Gleichungen ganz willkürlich, und wir haben schon vorhin erwähnt, dass jene Gleichungen nur die Verhältnisse $\frac{\delta'}{\delta}$, $\frac{\delta''}{\delta}$ u. s. w. bestimmen werden.

Die Dispersion δ des einen Mediums willkürlich lassen, heisst mit anderen Worten, jedem Lichtstrahle von beliebiger Farbe den Eintritt verstatten. Die Auflösungen jener Gleichungen oder die Werthe von $\frac{\delta'}{\delta}$, $\frac{\delta''}{\delta}$ ... stellen dann, wenn man sich δ variabel denkt, offenbar das Dispersionsgesetz jedes der übrigen Medien im Vergleich zu dem Dispersionsgesetze des einen Mediums dar.

Aus dieser Betrachtung ergiebt sich nun, dass wenn wir die beiden physikalischen Gleichungen $F_{13} = 0$ und $F_{14} = 0$ ganz ausser Acht lassen, also φ und δ als willkürliche Grössen ansehen, die übrigen 12 Gleichungen dazu dienen, die Natur der Erzeugungskurven der brechenden Flächen, die Krümmungsradien r an den Polen, die Dicken c der Medien, also alle Dimensionen des Auges, ferner alle Brechungskoeffizienten n für irgend eine, z. B. die rothe Farbe, endlich die Verhältnisse $\frac{\delta'}{\delta}$, $\frac{\delta''}{\delta}$ ... der Dispersion der übrigen Medien zu der Dispersion eines einzigen Mediums lediglich als Funktionen der Entfernung oder Sehweite a, unab-

hängig von der Grösse des Objektes oder dem Sehwinkel α zu bestimmen.

Da die Brechungskoeffizienten n mit der Dichtigkeit dieser flüssigen und gallertartigen Medien in gesetzlicher Beziehung stehen; so sind durch jene Formeln auch diese Dichtigkeiten als Funktionen der Sehweite a bestimmt.

Es möchte auf den ersten Blick etwas Auffallendes haben, dass der irgend einer Farbe, z. B. der rothen entsprechende Brechungskoeffizient n für jedes Medium als eine fest bestimmte Grösse aus der obigen Rechnung hervorgehen soll: man sollte vermuthen, dass dieser Koeffizient für irgend eins, z. B. für das erste Medium als Willkürliche erscheinen müsste, da doch das Wesen der rothen Farbe nicht von vorn herein etwas mathematisch Bestimmbares hat und man sich unter der Grösse n ebenso gut rothe, wie gelbe oder blaue und andere Strahlen denken kann. Diese Bedenken erläutern sich folgendermaassen.

Bleiben wir zunächst bei dem Falle stehen, dass kugelförmige Flächen und zwei Strahlenbündel von verschiedener Farbe, resp. von der Brechbarkeit n und $n + \delta$ in Betracht kommen. In den ersten 12 Gleichungen bleibt δ willkürlich. Für jeden gegebenen Werth von δ nimmt also n einen bestimmten Werth an, d. h. soll die Dispersion der beiden Farben eine gewisse sein; so muss nothwendig die Brechbarkeit n des ersten Mediums einen bestimmten Werth haben. Umgekehrt, da n und δ voneinander abhängen, kann man auch n als Willkürliche ansehen und δ danach berechnen: hieraus folgt, dass wenn die Brechbarkeit n irgend einen gegebenen Werth haben soll, die obigen Bedingungen der Konzentration der beiden Lichtbündel nur erfüllt werden können, wenn die zweite Farbe die bestimmte Dispersion δ hat.

In dem allgemeinen Falle, wo die Form und Beschaffenheit der brechenden Medien so bestimmt wird, dass nicht bloss zwei Strahlenbündel, sondern beliebig viele ihre Brennpunkte vereinigen, besteht das Resultat der Rechnung darin, dass während die Dispersion δ zwischen der ersten und irgend einer anderen Farbe alle möglichen Werthe durchläuft, auch die Brechbarkeit n alle möglichen Werthe durchlaufen wird. Jetzt findet Konzentration für alle Farben statt, es realisiren sich alle Brechungs- und alle Dispersionskoeffizienten.

Dass die Netzhaut in der Nähe des Poles eine Kugelfläche bilden muss, deren Mittelpunkt der Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen ist, haben wir schon vorhin erwähnt. Da nun der Radius dieser Fläche sich durch einen mathematischen Ausdruck aus den vorstehenden Dimensionen des Auges ergiebt; so ist auch die Gestalt der Netzhaut oder der Hinterfläche des letzten brechenden Mediums als Funktion der Sehweite a bestimmt.

In der Wirklichkeit liegt der Kreuzungspunkt in der Hinterfläche der Linse, und man erkennt jetzt die schon in No. 8 angedeutete Wichtigkeit des Umstandes, dass dieser Kreuzungspunkt bei jeder Sehweite durch die Akkommodation des Auges stets an derselben Stelle erhalten wird. Der Krümmungshalbmesser der Netzhaut im Pole der

Augenaxe beträgt also 12 bis 14 Mm. Der Abstand der Hornhaut von enem Punkte ist aber nur 9,5 Mm. und wenn man die in Form einer varzenförmigen Erhöhung auf die Vorderfläche des Augapfels aufgesetzte Hornhaut abschneidet; so beträgt der Abstand des Kreuzungspunktes von ler Vorderfläche des Auges nur 7 Mm. Hieraus folgt, dass der Augapfel in seiner ganzen Ausdehnung nicht kugelförmig sein, uch kein nach der Sehaxe verlängertes Ellipsoid bilden kann, lass derselbe vielmehr in jedem axialen Durchschnitte oder n jeder Meridianebene eine solche ellipsoidische Gestalt naben muss, worin der horizontale Durchmesser kleiner ist ls der normal darauf stehende, dass also der in der Sehaxe iegende Durchmesser des Auges der kleinste von allen und lie normal darauf stehenden unter sich nahezu gleich gross ein müssen.

Diess bestätigt sich auch durch das wirkliche Auge vollkommen, venn man die Durchschnitte der Innenfläche der harten Haut (welche m Pole dicker ist, als im Äquatorialdurchschnitte) betrachtet und die varzenförmige Erhöhung der Hornhaut ausser Acht lässt.

21. Mathematische Definition der Akkommodation. Aus Vorstehendem ersehen wir nun, dass die Akkommodation in denenigen Veränderungen besteht, welche die Werthe der Dimensionen, Krümmungen und Dichtigkeiten der brechenden Mittel des Auges erleiden, wenn man das in ihren mathemaischen Ausdrücken vorkommende einzige veränderliche Element, die Sehweite a, variirt.

Diese Veränderungen sind für jedes Element des Auges durch jene Formeln fest bestimmt: keine ist willkürlich, keine kann durch eine ndere Veränderung ersetzt werden, so kann z. B. nicht etwa die Augenxe einmal etwas länger und dafür die Wölbung oder Dichtigkeit der insе etwas schwächer gedacht werden: alle jene Veränderungen tehen durch die fraglichen Formeln in einem innigen, mathematischen Zusammenhange; die Akkommodation auf eine gegebene Entfernung ist eine in jeder Hinsicht bestimmte Thätigkeit.

Es ist aber ebenso wichtig, dass diese Thätigkeit lediglich von der Entfernung, nicht von der Lichtstärke und nicht von der Farbe es Objektes abhängt, dass vielmehr durch gewisse dauernde Einrichungen im Auge dafür gesorgt ist, dass die verschiedensten Helligkeitsrade und Farbenstufen keine Änderung der äusseren Dimensionen des Auges erfordern, um den Brennpunkt des Lichtbündels auf der Netzhaut u erhalten. Die Lichtstärke bedingt im Wesentlichen nur die Weite der Pupille.

Die Vorschrift zu den Änderungen, welche das Auge mit sich vorunehmen hat, geht von dem Lichtreize auf der Netzhaut aus, welcher o lange einen unbefriedigenden Zustand darstellt, als nicht die ollkommene Konzentration des Lichtbündels mit allen verschiedenfarigen Strahlen erfolgt ist.

Die Promptheit, mit welcher die sehr verschiedenartigen Akkommoationsakte, die Veränderungen der Dimensionen, Krümmungen und

Dichtigkeiten vor sich gehen, lässt darauf schliessen, dass unter den Nerventhätigkeiten, welche diese einzelnen Akte beherrschen, ein organischer Zusammenhang, eine Induktion besteht, vermöge welcher der eine den anderen nach sich zieht. Theilweise beruht diese Abhängigkeit offensichtlich auf der Verbindung der einzelnen Organe; so kann sich der Augapfel in der Axenrichtung nicht ausdehnen, ohne die Krümmung der brechenden Flächen und die Dichtigkeiten der Medien zu verstärken: theilweise beruht jene Abhängigkeit aber auch auf der Verflechtung oder dem Zusammenflusse der regierenden Nerven in dem Zentralorgane.

22. Unvollkommene Akkommodation. Das vorstehende Gesetz ist der ideale Zustand, welchen die Natur bei der Organisation des Auges anstrebt. Dass derselbe niemals in aller Vollkommenheit erreicht wird, ist das Loos alles Irdischen. Das gesetzliche Verhältniss zwischen den einzelnen Theilen und Eigenschaften der brechenden Medien, das strenge Gesetz der Akkommodationsveränderung bei variabeler Sehweite und die Unabhängigkeit von Lichtstärke und Farbe wird sich daher nur bis zu einem gewissen Grade der Vollkommenheit und ausserdem am besten für eine gewisse Sehweite a, für eine gewisse Lichtstärke und für eine gewisse Farbe erfüllen.

In Beziehung auf die Sehweite sind die günstigsten Bedingungen für ein möglichst scharfes Sehen und für eine möglichst präzise Akkommodationsveränderung durch eine Entfernung von 9 bis 10 Zoll gegeben, in welcher das normale Auge ein Objekt, welches scharf gesehen werden soll, betrachtet.

Die günstigste Lichtstärke entsteht durch Beleuchtung mit gemässigtem Tageslichte; weder zu intensive Strahlen, wie z. B. direkte Sonnenstrahlen, noch zu schwache, wie in der Dämmerung, liefern den zum scharfen Sehen und zur vollkommenen Akkommodationsveränderung erforderlichen angemessenen Lichtreiz.

In Hinsicht auf Farbe; so erfordert die vollständige Verwirklichung der obigen Dispersionsgesetze, d. h. diejenige Einrichtung der Substanzen der brechenden Medien, wonach sich die Dispersion jedes anderen Mediums in ein bestimmtes Verhältniss zur Dispersion eines einzigen Mediums setzt, das Vorhandensein aller möglichen Farbenstrahlen, weil der Reiz eines Lichtstrahles das beste Mittel ist, den auf seine Wirkung berechneten Zustand gehörig zu realisiren, wogegen der Mangel jenes Reizes eine grössere oder geringere Abweichung von diesem Zustande zur Folge hat. Demgemäss ist ein weisses oder doch nahezu weisses Objekt, weil sich im weissen Lichte alle einfachen Farben vereinigen, zum deutlichen Sehen das günstigste.

In allen anderen Zuständen verliert sich die Deutlichkeit des Gesichtseindruckes immer mehr und mehr und zugleich verliert sich die Fähigkeit der genauen Akkommodation bei variirender Entfernung.

Bei dieser Abweichung vom Normalzustande werden nun gewisse Eigenschaften des Objektes die anderen überwiegen und bewirken, dass gewisse Eigenschaften des Auges bei der Akkommodation vor den an-

: prävaliren. Wenngleich hierdurch der Zusammenhang der einzel- \kkommodationsakte dem obigen mathematischen Gesetze in Folge Jnvollkommenheit des Organismus mehr oder weniger entzogen ; so muss doch das allgemeine Prinzip, welches vermöge der Organi- ı des Auges die Verbindung zwischen den einzelnen Akkommoda- ıkten stiftet, in der Weise fortbestehen, dass jeder dieser Akte in- ıorisch auf die übrigen in der jenem Gesetze entsprechenden posi- oder negativen Richtung wirkt. So wird also z. B. eine Verlän- ıng der Augenaxe eine Verstärkung der Krümmungen und Dich- ıiten nach sich ziehen: nur das Maass dieser Veränderungen wird ıler gesetzlichen Normalgrösse abweichen.

Ausserdem wird die Natur sich unvermögend erweisen, das Krüm- gsgesetz für die Form der Flächen, welche die brechenden Medien ıderen Schalen begrenzen, sowie das Gesetz für die Variabilität der ıtigkeiten dieser Schalen so genau zu realisiren, wie die obigen ıeln es verlangen und wie es erforderlich wäre, wenn bei jeder Öff- g der Pupille die vollkommenste Konzentration der Strahlenbün- ıtattfinden sollte. Jene Krümmungen werden sich der Kugelge- : und jene Variabilität der Dichtigkeiten wird sich der Gleich- ıigkeit mehr nähern, als es streng genommen geschehen müsste. Randstrahlen und die schrägen Hauptstrahlen werden also r eine gewisse Aberration zeigen.

Die letztere Unvollkommenheit nöthigt denn aber dazu, dass die egung der Regenbogenhaut oder die Regulirung der Pu- durch Ausschluss der am meisten aberrirenden Strahlen zu einem ıntlichen Hülfsmittel der Akkommodation wird und nicht hliesslich Schutzmittel gegen zu starken Lichtreiz bleibt.

23. Induktion, welche die Akkommodationsakte verbindet.

Wirkung der im Vorstehenden erwähnten Induktion, welche inzelnen Akkommodationsakte verbindet, und welche aus dem orga- en Zusammenhange der Gewebe und der Nerven des Auges ent- gt, ergiebt sich für den ideal vollkommenen Zustand des Sehorgans den Veränderungen, welche die mathematischen Formeln für die ıen r, n, c, $\frac{\delta'}{\delta}$ u. s. w. erleiden, wenn die Sehweite a variirt. Der dzug dieses Gesetzes besteht in Folgendem.

Wenn die Sehweite abnimmt, verlängert sich die Augen- (die Linse rückt in Beziehung zur Netzhaut vor, d. h. ergrössert sich die Dicke des Glaskörpers), es verstär- sich die Krümmungen (die Radien r werden kleiner), teigert sich die Dichtigkeit und Brechbarkeit n der e, während die des Glaskörpers abnimmt; die Dispersion r Linse nimmt ab und die des Glaskörpers nimmt zu; die lle verengt sich.

Umgekehrt, wenn die Sehweite zunimmt, verkürzt sich Augenaxe, die Krümmungen flachen sich ab, die Dichtig- und Brechbarkeit der Linse vermindert sich, die des körpers nimmt zu, die Dispersion der Linse vergrössert

sich und die des Glaskörpers sinkt herab, die Pupille erwei-tert sich.

Die erstere Akkommodationsthätigkeit entspricht der vermeh-ten, die letztere der verminderten Anstrengung. Für die unend-liche Sehweite ist diese Anstrengung null; die Augenaxe ist am kür-zesten, die Krümmungen sind am flachsten, die Dichtigkeit und Brech-barkeit der Linse ist am schwächsten und ihre Dispersion am grössten; die Dichtigkeit und Brechbarkeit des Glaskörpers dagegen ist in diesem Zustande am stärksten und seine Dispersion am schwächsten.

Dass mit der Zunahme der Dichtigkeit der Linse eine Abnahme der Dichtigkeit des Glaskörpers verbunden sein muss, um den Brenn-punkt möglichst nahe an die Linse heranzurücken, also bei Verkür-zung der Sehweite das Hinausrücken des Brennpunktes über die Netzhaut möglichst zu beschränken, ist leicht einzusehen, dass sich aber diese Beziehung durch die Konstruction des Auges leicht reali-sirt, ist schon in §. 6 No. 1 hervorgehoben: denn da jeder Meridionaldurch-schnitt der Netzhaut ein Ellipsoid ist, dessen kleine Axe in der Augen-axe liegt; so muss eine axiale Ausdehnung des Auges den Glaskörper mehr in die Kugelform bringen, also sein Volum vergrössern, d. h. ihn verdünnen. Die Linse dagegen, deren Flächen nahezu kugelförmig sind, kann sich in Folge der stärkeren Krümmung dieser Flächen und in Folge der radialen Kontraktion nur verdichten.

Bei der Verdichtung der Körper vergrössert und bei der Ver-dünnung verkleinert sich ihre optische Brechbarkeit n. Dieses Faktum ist aus der Physik hinlänglich bekannt.

Was jedoch die Dispersion δ betrifft, so habe ich in §. 2 No. 1 gezeigt, dass sich dieselbe mit der Verdünnung vergrössert und mit der Verdichtung verkleinert. Dieses Resultat ist für die Optik des Auges von besonderer Bedeutung.

Die Zunahme der Dispersion bei abnehmender Dichtig-keit ist das Mittel, den Achromatismus des Auges in den ver-schiedenen Akkommodationszuständen aufrecht zu erhalten und um dasselbe wirksam zu machen, ist es nicht bloss zulässig, son-dern nothwendig, dass bei Verkürzung der Sehweite der Glaskörper sich verdünne oder doch weniger stark verdichte, als die Linse. Die letztere Verdünnung fördert also nicht allein den Zweck der Fesselung des Brennpunktes innerhalb enger Grenzen oder der möglichsten Ein-schränkung der Akkommodationsveränderungen des Auges, son-dern dient zugleich zur Zusammenhaltung der verschiedenfarbi-gen Strahlen.

Um vorstehende Behauptung genau einzusehen, vergegenwärtige man sich die Folgen der Verdichtung und Verdünnung der Linse und des Glaskörpers. Verdichtet sich die Linse; so verstärkt sich die Brech-barkeit aller Farben; der Brennpunkt rückt also nach vorn. Verdünnt sich der Glaskörper; so verstärkt sich noch mehr der relative Brechungs-koeffizient zwischen diesem Körper und der Linse für alle Strahlen; der Brennpunkt rückt also noch mehr nach vorn. In Folge der Verdich-tung der Linse vermindert sich die Dispersion, die Brechbarkeit der violetten Strahlen erhöht sich also nicht in dem Masse wie die der

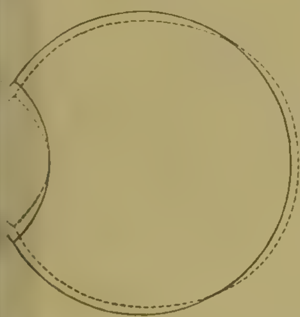
en; der Brennpunkt der violetten Strahlen rückt also weniger rasch h vorn, als der der rothen. In Folge der Verdünnung des Glas-ers vergrössert sich die Dispersion darin; der relative Brechungs-fizient zwischen Glaskörper und Linse vergrössert sich also für die tten Strahlen in geringerem Verhältnisse, wie für die rothen, und s bewirkt eine noch stärkere Verzögerung im Vorrücken Brennpunktes der violetten Strahlen, sodass es nunmehr lich ist, den Brennpunkt der violetten Strahlen wiederum mit dem rothen zu vereinigen.

Die Grösse des Objektes oder vielmehr sein Sehwinkel, seine htstärke und seine Farbe sollten eigentlich keinen Einfluss auf Akkommodationszustand der brechenden Medien haben (die tstärke sollte nur die Pupille affiziren), ebenso wenig der Wille die Aufmerksamkeit, welche wir einem Gegenstande zuwenden: en der Unvollkommenheit des Organismus findet aber ein solcher statt. Wenngleich dieser Einfluss nicht immer sehr be-end ist; so erzeugt derselbe doch zahlreiche vom Normalen ab-hende Erscheinungen oder optische Täuschungen, deren Ermitt- und Begründung ein Hauptgegenstand dieser Schrift ist.

Vermöge der zwischen den einzelnen Akten der Akkommodation be-nden Induktion ergeben sich folgende wesentlichen Veränderungen Auges bei wechselnder Entfernung, Grösse und Helligkeit Objektes.

Eine Verkürzung der Sehweite hat den in Fig. 80 dargestell-Übergang aus der Form der ausgezogenen Linien in die der punk-tirten zur Folge. Die Krümmungen und Dichtigkeiten der Linse verstärken sich, die Augenaxe wird länger, der Glaskörper ver-dünnt sich. Die Veränderung der Krüm-mungen und Dichtigkeiten geht aber nicht in allen Punkten gleichmässig vor sich: zur Verhütung der sonst sich steigernden Aberration, vermöge welcher die Rand-strahlen vor den Hauptstrahlen konvergiren würden, wird die Veränderung der Krüm-mungen und Dichtigkeiten in der Axe am stärksten, und nach dem Rande hin am ichsten; die Linse nimmt also eine mehr paraboloidische Gestalt id die äusseren Schalen derselben verdichten sich schwächer, als nneren, sodass die Verdichtung nach den Rändern geringer ist, der Axe. Gleichzeitig verengt sich behuf des nämlichen Zweckes erhütung einer zu starken Aberration die Pupille. Die Netzhaut, e eine Kugelfläche bleiben sollte, deren Mittelpunkt im hinteren der Linse liegt, welche also einen grösseren Radius annehmen sich flacher krümmen müsste, thut Diess auch, nimmt jedoch in der Elastizität der zusammenhängenden Massen und da nur die enz vorliegt, den Pol der Netzhaut zurückzuziehen, die Form eines soides mit horizontal liegender grosser Axe oder nahezu eine pa-loidische Form an.

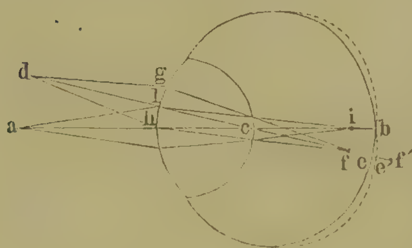
Fig. 80.



Eine Verlängerung der Sehweite hat den umgekehrten E[illegible] also einen Uebergang von den punktirten zu den gezogenen Linie[illegible] Folge.

Vergrössert sich dagegen der Sehwinkel, so würde bei k[illegible] förmigen Wölbungen und gleichförmigen Dichtigkeiten der breche[illegible] Medien nach No. 12 selbst für ansehnliche Sehwinkel *dca* (Fig. 81) eine ziemlich scharfe Konzentr[illegible] der Brennpunkte der Hauptstra[illegible] *de* aller schrägen Bündel auf[illegible] Netzhaut stattfinden. Die sch[illegible] Hauptstrahlen *de* haben nach N[illegible] eine nur wenig kürzere Brenn[illegible] *ce* als die axialen Hauptstrahle[illegible] und es ist sogar möglich, dass [illegible] geringe Differenz im wirkli[illegible] Auge gar nicht einmal vorhande[illegible] oder das entgegengesetzte Ze[illegible] hat. Für unsere jetzige Betrachtung genügt die Thatsache, dass [illegible] Differenz nur sehr klein im Vergleich zu der Aberration *ib* [illegible] Rand- und Zentralstrahlen eines konischen Strahlenbündels ist.

Fig. 81.



Nun besteht aber in dem schrägen Bündel *de* zwischen den R[illegible] strahlen *dgf*, *dhf* und den Hauptstrahlen *dle* eine Aberration *fe* [illegible] nach denselben Gesetzen, wie in dem axialen Bündel *ab*. Zur Verhü[illegible] der Aberration in dem schrägen Bündel *de* würde nun eine von *l* g[illegible] *h* und gegen *g* fortschreitende Abflachung und Verdünnung erfo[illegible] lich sein. Die Aberration in dem axialen Bündel *ab* hat aber hins[illegible] lich der Krümmungs- und Dichtigkeitsverhältnisse des Stückes *hl* ge[illegible] das umgekehrte Gesetz, nämlich zunehmende Abflachung und Verdünn[illegible] von *h* gegen *l* verlangt und in der paraboloidischen Form der L[illegible] bereits realisirt. Eine gleichmässige Aberration in allen Strahlen[illegible] deln erfordert also für ein Objekt vom Sehwinkel *dca* eine Verände[illegible] der Linse, welche der mit der Annäherung des Objektes verbund[illegible] insofern entgegensteht, als sie eine relative Abflachung und V[illegible] dünnung am Pole *h* und eine relative Wölbung und Verdicht[illegible] bei *l* erfordert.

Es kömmt aber noch ein Zweites in Betracht. Die Brennweit[illegible] der schrägen Hauptstrahlen (oder vielmehr der wirksamsten Stra[illegible] ist der Brennweite *cb* der axialen Hauptstrahlen nur bei kugelförm[illegible] Wölbungen und gleichförmigen Dichtigkeiten nahezu gleich. Nac[illegible] aber die Linse vermöge der Akkommodation auf die Sehweite *a*[illegible] paraboloidische Gestalt angenommen, also die Wölbung und Dic[illegible] keit bei *l* vermindert hat, ist der Brennpunkt der Hauptstrahlen [illegible] die Netzhaut hinaus nach *f'* gerückt. Die Konzentration auf [illegible] Netzhaut erfordert also jetzt stärkere Wölbung und Dichtig[illegible] der Linse bei *l* und zugleich Verlängerung des schrägen Du[illegible] messers *ce'* des Auges oder vermehrte Anspannung des Aug[illegible] dieser schrägen Richtung.

Sowohl dieses, wie das vorher beschriebene Bedürfniss nöthigen die Linse, sich bei *l* stärker zu wölben und zu verdichten, also

einer Form zu nähern, welche einem Ellipsoide mit horizontaler kleiner Rotationsaxe entspricht. Gleichzeitig wird die Netzhaut gezwungen, ebenfalls die Gestalt eines solchen Ellipsoides mit horizontaler kleiner Axe anzunehmen.

Wir haben im Vorstehenden zwei Grundformen kennen gelernt, welche sich an der Linse, namentlich an deren Vorderfläche und zugleich an der Netzhaut ausprägen, je nachdem das Objekt näher rückt oder einen grösseren Sehwinkel einnimmt. Die erste Grundform, welche der Verkürzung der Sehweite angehört, werden wir der leichteren Bezugnahme wegen die paraboloidische nennen, weil Abflachung nach den Rändern hin ihr Hauptmerkmal ist: die zweite Grundform, welche der Vergrösserung des Sehwinkels angehört, soll die ellipsoidische heissen, weil sie sich durch Verstärkung der Wölbung nach den Rändern hin auszeichnet.

Mit der paraboloidischen Form ist eine wesentliche Verlängerung der Augenaxe verbunden. Mit der ellipsoidischen Form ist eine schwache Verlängerung der schrägen Durchmesser des Auges, welche in den Richtungen der Schenkel des Sehwinkels liegen und demgemäss auch eine mittlere, jedoch noch schwächere Verlängerung des ganzen Auges verbunden. Von jenen schrägsten Durchmessern bis zu dem axialen Durchmesser nimmt diese Verlängerung allmählig ab und kann in dem axialen Durchmesser selbst sogar eine geringe Verkürzung werden.

Während die paraboloidische Gestalt mit einer Verengung der Pupille begleitet ist, findet bei der ellipsoidischen Gestalt wegen des letzteren Grundes eher eine schwache Erweiterung der Pupille statt.

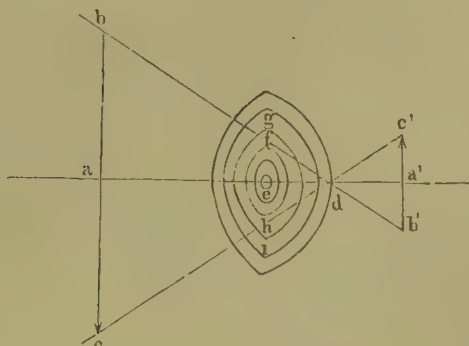
Zur Ausführung dieser Akkommodationsveränderungen für verschiedene Sehwinkel erscheint die Zusammensetzung der Linse aus vielen Schalen, welche nach dem Zentrum hin am dichtesten und am stärksten gewölbt sind, sowie auch die Verlegung des Kreuzungspunktes der Hauptstrahlen in die Hinterfläche der Linse von besonderer Bedeutung.

Von vorn herein sollte man glauben, wäre der Mittelpunkt der Linse der geeignetste Ort für den Kreuzungspunkt, weil in diesem Falle die Linse von allen Hauptstrahlen am vollkommensten und symmetrischen erfasst, also am leichtesten und vollständigsten zu den erforderlichen Akkommodationsveränderungen genöthigt werden könnte.

Bei sorgfältigerer Überlegung findet man jedoch, dass wenn ein Organ gleichzeitig auf verschiedene Reize prompt reagiren soll, es nicht zweckmässig sein kann, diese Reize auf einen Punkt zu konzentriren, weil hieraus wohl eine mittlere Resultante erzeugt, nicht aber so leicht jeder einzelne Reiz in seiner Besonderheit wirksam erhalten werden kann. So ist es denn im vorliegenden Falle offenbar viel zweckmässiger, den Kern e der Linse (Fig. 82 a. f. S.) nur durch die Hauptstrahlen aa' eines axialen Bündels in Anspruch zu nehmen, schräge Hauptstrahlen wie bb', cc' aber von der Einwirkung auf jenen Kern auszuschliessen, dieselben vielmehr vorzugsweise auf eine besondere Schale ghi anzuweisen, deren Form und Dichtigkeit regulirt werden kann, ohne einen überwiegenden Einfluss auf die übrigen Schalen auszuüben.

Die gleichzeitige Aplanation oder gute Akkommodatio für verschiedene Sehwinkel wird also durch eine geringe Ver schiebung des Kreuzungs punktes nach hinten un durch die Zusammenset zung der Linse aus Scha len, welche nach der Mitt hin am dichtesten un stärksten gewölbt sind erleichtert.

Fig. 82.



Ganz besonders wichtig is aber diese Zusammensetzun der Linse noch desshalb, wei sie die anscheinend wider sprechenden Forderungen eine guten Aplanation für ver schieden geneigte Strahlenbündel ermöglicht. Die Aplanatio des axialen Bündels *ab* (Fig. 81) verlangt Abflachung oder Ver dünnung bei *l*; die Aplanation des schrägen Bündels *de* un die Konzentration desselben auf der Netzhaut aber verlangt stär kere Wölbung oder Verdichtung bei *l*. Diese beiden Bedingunge würden in einem homogenen Medium schwer zu erfüllen sein, wogege sie in der schalenförmigen Linse leicht zu erfüllen sind. Man brauch nämlich nur zu berücksichtigen, dass die zuerst erwähnte Verdünnun bei *l* in der Richtung *lm*, die alsdann genannte Verdichtung bei aber in der Richtung *lc* stattfinden muss. Da diese beiden Richtunge *lm* und *lc* verschieden sind, also verschiedene Schalen treffen, s ist eine Verschiedenheit der Dichtigkeit darin sehr wohl zu ver wirklichen, trotzdem sie durch ein und denselben Punkt *l* der Lins gehen.

Es ist jetzt noch der Wirkung der Lichtstärke auf die Akkomm dation zu erwähnen. Je intensiver die Strahlen des Objektes werde desto empfindlicher wird die Wirkung jeder Aberration und Zer streuung. Hieraus folgt, dass das Auge um so energischer die zu möglichsten Schärfe des Netzhautbildes dienende Form anzunehme strebt, je grösser die Lichtstärke des Objektes ist. Es wird sich als sowohl die paraboloidische, als auch die ellipsoidische Form de Linse um so schärfer ausprägen, je heller das Objekt wird. Hiermit is immer eine vermehrte Akkommodationsanstrengung und eine u so grössere Verlängerung des Auges verbunden.

Hiermit harmonirt eine stärkere Verengung der Pupille, we che auch zur Verhütung der durch die stärkeren Strahlen um so empfind licher werdenden Aberration geboten ist. Endlich bedingt der Schut des Sehnerven gegen zu starke Lichterschütterungen eine Verengung de Pupille und man kann annehmen, dass diese direkte Wirkung de Lichtintensität auf den Sehnerven eine allgemeine Kontraktio des ganzen Auges herbeiführt.

Im Übrigen behalten wir uns die nähere Ausführung der Veränd

rungen des Auges unter den vielfach verschiedenen Lichtwirkungen und die darauf sich stützenden Erklärungen der optischen Erscheinungen für die folgenden Paragraphen vor.

24. Bestätigung der Akkommodationsveränderungen durch das Experiment. Dass zum deutlichen Sehen ein scharfes Lichtbild des Objektes auf der Netzhaut erforderlich ist, halte ich nicht für eine Hypothese, sondern für eine unantastbare Gewissheit. Wenn überhaupt zum Sehen eines Objektes ein Bild davon im Auge entworfen werden muss und wenn die Nerven der Netzhaut die Organe sind, durch deren unmittelbaren Reiz die Gesichtsvorstellung zu Stande kömmt; so muss auch der Grad der Genauigkeit dieses Bildes auf der Netzhaut den Grad der Deutlichkeit des Sehens bedingen. Denn ein ungenaues Bild ist so gut ein Lichtbild wie ein genaues: das ungenaue Bild unerscheidet sich von dem genauen nur dadurch, dass ein Punkt der Netzhaut, welcher affizirt werden sollte, um den Gesichtseindruck von einem Punkte zu machen, sich auf eine Fläche (den Zerstreuungskreis) erweitert, dass also mehrere Punkte affizirt werden. Demzufolge müssen hieraus auch die Gesichtseindrücke von mehreren Punkten oder von einer Fläche entspringen, d. h. das Objekt muss undeutlich erscheinen. Könnte ein ungenaues Lichtbild auf der Netzhaut einen genauen Gesichtseindruck machen; so müsste ein wirkliches Objekt, welches in demselben Grade wie jenes Netzhautbild undeutlich ist, z. B. in Gemälde, in welchem jeder Punkt als eine entsprechend grosse Zertreunngsfläche gemalt wäre, oder ein in diesen Grenzen rasch hinundherschwingender Körper, oder ein leuchtendes Objekt hinter einer urchscheinenden Masse (von welcher durch jeden Punkt des Objekes ein gewisser Kubikraum zum Strahlen gebracht wird) gleichwohl charf und deutlich erscheinen. Man sieht, die Konsequenz führt ur Absurdität und zum Widerspruche mit den Thatsachen; es muss also ls ausgemacht betrachtet werden, dass zum scharfen Sehen ein scharfes Netzhautbild erforderlich ist.

Damit nun auf der Netzhaut ein scharfes Bild zu Stande kommen könne, wenn das Objekt seine Entfernung ändert, müssen ebenso nothwendig solche Veränderungen an den brechenden Medien und deren Oberflächen im Auge vor sich gehen, welche den allgemeinen physikalischen Bedingungen der Dioptrik entsprechen. Ob man diese Veränderungen beobachtet hat oder nicht, ist für die zwingende Nothwendigkeit dieser Behauptung ganz gleichgültig. Da nach No. 20 die einzelnen Veränderungen der brechenden Medien in Beziehung auf Abstände, Wölbungen und Dichtigkeiten keineswegs einander äquivalent, sondern zur genauen Konzentrirung der Strahlenbündel sämmtlich erforderlich sind; so zeigt sich die Frage, ob alle im Vorstehenden bezeichneten Veränderungen der Hornhaut, des Augenwassers, der Linse, des Glaskörpers und des Augapfels oder nur einige davon vorkommen, ist müssig. Wenn wir der Natur einige Vollkommenheit bei der Ausführung ihrer Prinzipien zutrauen; so müssen wir annehmen, dass jene Veränderungen sämmtlich vorkommen. Gleichwohl herrschen über die Akkommodationsveränderungen noch heute sehr verschiedene Ansichten. Dass

überhaupt solche Veränderungen vor sich gehen, wird wohl von Niemand mehr bezweifelt, über die Art dieser Veränderungen wird jedoch noch lebhaft gestritten. So erklärt z. B. Ruete (Ophthalmologie S. 217) eine Formveränderung der Linse für unmöglich, eine Veränderung der Augenaxe aber für wahrscheinlich. Helmholtz dagegen (Physiologische Optik in der Enzyklopädie der Physik, 1. Lieferung, §. 12) erklärt eine Veränderung der Augenaxe für unmöglich, die Formveränderung der Linse aber nicht bloss auf Grund von Beobachtungen für gewiss, sondern sogar für die einzige Akkommodationsveränderung.

Es scheint, als ob die Mehrzahl der Physiologen geneigt sei, die Akkommodation des Auges in eine einzige Veränderung, sei es Verrückung der Linse, Veränderung der Augenaxe, Veränderung der Wölbung der Linse, Veränderung der Krümmung der Hornhaut zu legen und dass die Veränderung der Wölbung der Linse die meiste Aussicht auf Anerkennung hat. Daneben wird übrigens häufig der Veränderung der Pupille ein grosses Gewicht für die Akkommodation beigelegt.

Ich bin nach Obigem der festen Ansicht, dass nicht bloss einzelne, sondern alle früher besprochenen Akkommodationsveränderungen eintreten und dass die Einwendungen, welche man gegen die Ausführbarkeit dieser und jener Veränderungen erhoben hat, sämmtlich auf Täuschungen beruhen.

Als ausgemacht kann zunächst die Veränderung der Pupille bei der Akkommodation auf verschiedene Entfernungen angesehen werden. Aber ebenso gewiss wie diese Veränderung als Faktum ist, ebenso gewiss ist sie kein Akkommodationsakt, sondern eine durch die Akkommodation induzirte sekundäre Thätigkeit, welche besondere Zwecke erfüllt, die wir später kennen lernen werden.

Von den eigentlichen Akkommodationsveränderungen ist durch sorgfältige Beobachtungen die Veränderung der Wölbung der Linse, wenigstens an der Vorderfläche, sicher konstatirt. Die Linse wölbt sich hier beim Nahesehen stärker, und Helmholtz glaubt auch überzeugt zu sein, dass sich gleichzeitig die Hinterfläche stärker wölbt.

Diese einzige Thatsache reicht hin, um daran den Nachweis der Existenz aller übrigen Akkommodationsveränderungen zu knüpfen. Zunächst ist klar, dass mit der Formveränderung der Linse auch eine Dichtigkeitsveränderung, also eine Veränderung der Brechbarkeit und der Dispersion der Linse verbunden sein muss, da ein organisches, aus unzähligen Schalen und Zellen bestehendes Gebilde wie die Linse, welches seine bestimmte Form unter der Herrschaft bestimmter Kräfte einnimmt, diese Form doch nur in Folge der Änderung dieser Kräfte ändern kann, mit der Änderung der letzteren Kräfte aber nothwendig eine Veränderung des Molekularverhältnisses oder der Dichtigkeit verbunden sein muss. In der That liesse sich auch durch veränderte Wölbung der Linse wohl der Brennpunkt der Strahlen verrücken, nicht aber die chromatische Aberration beseitigen, wozu nothwendig eine Dichtigkeitsveränderung erforderlich ist.

Helmholtz leitet aus direkten Beobachtungen ab, dass sich beim Übergange eines Auges von der Akkommodation auf die Ferne zu der

Akkommodation auf die Nähe, also innerhalb der jenseit der mittleren Sehweite liegenden Entfernungen, der Krümmungshalbmesser der Vorderfläche der Linse an einem Auge von 11,9 auf 8,6 Mm. und an einem anderen Auge von 8,8 auf 5,9 Mm. verkürzte. Die Verkürzung betrug also resp. 3,3 und 2,9 Mm. oder den dritten Theil des Radius für das Fernsehen. Eine Verrückung des hinteren Poles der Linse ist hierbei nicht bemerkt worden, wohl aber schliesst Helmholtz auf eine etwas stärkere Wölbung der Hinterfläche, ohne jedoch dieselbe zu bestimmen.

Durch diese Verkürzung des Krümmungshalbmessers der Vorderfläche der Linse würde, selbst wenn sich die Hinterfläche nur sehr wenig stärker gewölbt hätte, das Volum der Linse etwa um den fünften Theil vermindert, ihre Dichtigkeit also um den vierten Theil vergrössert sein, wenn die Vorderfläche nicht gleichzeitig nach vorn gerückt oder die Linse dicker geworden wäre. Eine solche Dichtigkeitsveränderung ist viel zu erheblich, um als möglich gedacht zu werden. Es muss also nothwendig eine Vorrückung der vorderen Linsenfläche stattgefunden haben.

Ausserdem muss man aus dieser erheblichen Formveränderung schliessen, dass immer eine beträchtliche Dichtigkeitserhöhung stattgefunden hat. Denn sollte die Linse bei jener stärkeren Wölbung gar keine Dichtigkeitsänderung erleiden; so müsste ihre Vorderfläche mindestens um $^1/_2$ Mm. vorgerückt oder die Linse müsste mindestens um $^1/_2$ Mm. dicker geworden sein. In dieser Erheblichkeit hat die Veränderung nach den sorgfältigen Beobachtungen nicht stattgefunden; es muss mithin ein geringeres Vorrücken der vorderen Fläche der Linse und gleichzeitig eine Verdichtung derselben eingetreten sein. Eine namhafte Vorrückung der ganzen Linse ist bei dieser erheblichen Form- und Ortsveränderung der Vorderfläche offenbar gar kein Bedürfniss mehr: schwache Bewegungen der Linse sind aber in der That beobachtet; es kann also keinem Zweifel unterliegen, dass dieselben Dasjenige vollständig zu ergänzen vermögen, was unter Umständen bei jener Veränderung der Vorderfläche noch behuf genauer Akkommodation fehlen sollte.

Hiermit sind die drei Hauptakte: Veränderung der Abstände, der Krümmungen und der Dichtigkeit hinsichtlich der Linse, also hinsichtlich des Hauptkörpers schon konstatirt.

Was den Glaskörper betrifft; so bewirkt eine Verstärkung der Wölbung der Hinterfläche der Linse und ein Vorrücken derselben eine Volumvergrösserung, also eine Dichtigkeitsverminderung des Glaskörpers, wie die Theorie sie verlangt. Da nun jene Veränderungen der Linse nachgewiesen sind, so ist die letztere Veränderung als gewiss anzusehen. Etwas ausgeglichen könnte die Volumvergrösserung des Glaskörpers zwar dadurch werden, dass sich bei der stärkeren Wölbung der Linse ihr meridionaler Durchmesser verkleinerte, insofern sich damit zugleich der Durchmesser des Augapfels an jener Stelle verkleinerte. Eine solche Verkleinerung des meridionalen Durchmessers des Auges an der Stelle der Linse halte ich nun zwar für sehr wahrscheinlich, weil der Augapfel gewiss induktorisch an der Kontraktion der Linse Theil nehmen wird

(ohne dass die Augenmuskeln als die Ursache der Kontraktion der Linse anzusehen sind); allein daraus folgt keineswegs, dass sich der Augapfel an allen Stellen und wohl gar gleichmässig kontrahiren müsse. Das Auge ist nicht mit einem organischen elastischen Balle zu vergleichen: vermöge der Organisation werden seine einzelnen Theile durch selbstständige Nervenzüge beherrscht und seine Veränderungen sind eigenthümlicher Art. Aber selbst ein Gummiball, wenn er in einer Äquatoriallinie gedrückt wird, kontrahirt sich nicht allenthalben und nicht gleichförmig: im Gegentheil quillt er an den Polen auf. Demgemäss kann die partielle Volumverminderung des Glaskörpers in der Nähe der Linse durch eine Volumvergrösserung in der Nähe des Poles vollständig ausgeglichen werden, sodass im Gesammtresultate eine Dichtigkeitsverminderung eintritt.

Ausserdem wird hiermit eine Vergrösserung des Krümmungshalbmessers der Netzhaut am Pole verbunden sein. Dass eine Änderung dieses Halbmessers bis jetzt nicht wahrgenommen ist, begreift sich leicht, wenn man erwägt, dass derselbe nach unserer Theorie (No. 20) stets gleich dem Abstande des hinteren Poles der Linse oder vielmehr des hinteren Knotenpunktes von der Netzhaut sein muss, sich also nur sehr wenig ändern kann.

Ich hebe ausdrücklich hervor, dass wenn in den vorstehenden Nummern mit Bezug auf das aus zwei brechenden Medien bestehende vereinfachte Auge von der Axenlänge die Rede gewesen ist, hierunter der Abstand vom vorderen Pole der Linse bis zum hinteren Pole des Glaskörpers verstanden ist. Ob die Veränderung dieses Abstandes durch Veränderung der Wölbung der Vorderfläche der Linse, oder durch Verschiebung der Linse oder durch Längenveränderung des Glaskörpers oder durch diese drei Veränderungen zugleich hervorgebracht wird, ist für die optischen Gesetze offenbar ganz gleichgültig. Bei der Übertragung dieses Begriffes der Axenlänge auf das aus drei Medien bestehende wirkliche Auge kann natürlich nicht davon die Rede sein, hierunter ausschliesslich den Abstand vom Pole der Hornhaut bis zum Pole der Hinterfläche der harten Haut verstehen zu wollen: bei Vernachlässigung der Variation des Abstandes der Hornhaut von der Linse kann hierunter vielmehr nur der Abstand von der Vorderfläche der Linse bis zur Stäbchenschicht der Netzhaut verstanden werden.

Dass diese Axenlänge sich wirklich ändert, ist im Vorstehenden nachgewiesen und zwar in Folge der stärkeren Wölbung der vorderen Linsenfläche. Allein ich bin der Ansicht, dass diese Veränderung der Axenlänge durch Formveränderungen des Augapfels verstärkt wird. Zwar sind gegen die Möglichkeit der Formveränderung des Augapfels Einwendungen erhoben: dieselben sind jedoch nicht hinreichend begründet.

Zunächst meint man, müsse sich mit der Formveränderung des Augapfels der hydrostatische Druck im Innern des Auges ändern und die Hornhaut zu Formveränderungen nöthigen, welche der Beobachtung nicht entsprechen. Diese Annahme würde Etwas für sich haben, wenn die Form des Augapfels durch den äusseren Druck der Augenmuskeln

geändert und dabei der Glaskörper wie eine indifferente Masse komprimirt würde. Allein von einem solchen Vorgange kann durchaus nicht die Rede sein. Die Augenmuskeln werden allerdings bei der Akkommodation induktorisch in Thätigkeit gesetzt, aber nur behuf Drehung des Auges: Kompression ist überall keine Funktion dieser Muskeln; sie kann nach der Art der Anbringung gar nicht von ihnen ausgeübt werden. Die Formveränderungen des Augapfels müssen nothwendig von anderen Nerven ausgehen und zwar von Nerven, welche die Masse jedes zu verändernden Körpers vollständig durchdringen und so wirken, dass sich diese Masse in ihren Molekülen wie ein organisches Ganze ändert, ohne dabei seine wesentlichen Eigenschaften zu verlieren und andere Organe in ihren Funktionen zu beeinträchtigen.

Demgemäss wird bei der Akkommodation eine Formveränderung ler harten Haut von einer selbstständigen Form- und Dichtig- ɾeitsveränderung des Glaskörpers begleitet sein, welche keines- vegs einen ungebürlichen Druck gegen die Linse und gegen das vordere Augenwasser erzeugt. Wahrscheinlich wird auch die Formveränderung ler harten Haut erst auf einer Induktion durch die Aderhaut und liese auf einer Induktion durch die Netzhaut beruhen, d. h. ich nehme ın, das Bestreben, in die Spitze des Strahlenkegels zu gelangen, geht von ler Netzhaut, als der für das Licht empfindlichen Nervenmasse, aus; lieses Bestreben ist die Tendenz zurückzuweichen oder vorzu- ;reten, eine Tendenz, welche sich dadurch geltend macht, dass sie nach lem Organisationsplane des Auges ein ganzes System von Nervenreizen rweckt, in Folge deren die Linse ihre Form, Dichtigkeit und Lage, der Glaskörper seine Form und Dichtigkeit, die harte Haut und die Hornhaut hre Form ändern.

Ein zweiter Einwurf gegen die Formveränderung des Augapfels be- teht darin, dass erfahrungsmässig ein Druck gegen den Augapfel die Gefässe der Aderhaut verengt, die Blutzirkulation hemmt und die Netz- aut unempfindlich macht. Dieser Einwurf erledigt sich durch die vor- tehende Betrachtung, wonach es sich bei der Akkommodation nicht um inen Druck auf die Aderhaut oder um mechanische Spannungen in der- elben, sondern um eine organische Formveränderung ohne derartige me- hanische Spannungen handelt. Ein äusserer Druck auf die Linse würde die Funktion derselben gewiss auch in abnormer Weise eeinträchtigen, ohne dass man daraus die Unmöglichkeit hrer organischen Formveränderung ableiten könnte. Über- aupt leidet jedes Organ, von welchem wir organische Veränderungen ehr wohl kennen, unter einem äusseren Drucke.

Der dritte Einwand, von Young herrührend, stützt sich auf die hatsache, dass wenn das Auge möglichst weit nach innen (gegen die ase) gedreht, also der vordere und der hintere Pol zugänglich ist, und un sowohl die Hornhaut, als auch der hintere Pol der harten Haut urch einen Metallring festgehalten wird, das Auge doch die Fähig- eit behält, sich auf verschiedene Entfernungen zu akkommodiren. Aus iesem Experimente kann man meines Erachtens durchaus nicht schlie- sen, dass bei der Akkommodation des freien Auges keine Formverände- ung der Netzhaut vorkomme. Denn wenn die harte Haut durch irgend

einen Zwang an eine bestimmte Form gebunden ist, so finden doch di übrigen Akkommodationsakte statt, gewähren also immer eine, wenn auch nicht ganz vollkommene Akkommodation, verstärken sich vielleich sogar, um die fehlende Wirkung der Veränderung des Augapfels zu er setzen. Dazu kömmt noch, dass es sich prinzipiell nicht um die Form veränderung der harten Haut, sondern um die der Netzhaut han delt und dass die letztere, da sie durch die sehr elastische und nur los mit der harten Haut verbundene Aderhaut von dieser Haut getrennt ist schwache Formveränderungen erleiden kann, welche von denen der harte Haut unabhängig und durch jene Fesselung des Augapfels nicht ver hindert sind. Endlich aber behaupte ich, dass ein Druck auf den Po des Augapfels, ja überhaupt jeder Druck auf das Auge die Akkommoda tionsfähigkeit schwächt, wennauch nicht gänzlich aufhebt, wovon ma sich leicht durch einen Versuch überzeugen kann. Das Youngsch Experiment beweis't also, indem es die Akkommodationsfähigkeit als be schränkt erkennen lässt, das Gegentheil von dem daraus gezogene Schlusse.

Die Anheftung der Aderhaut an die harte Haut durch isolite Fa sern, die Durchsetzung des Glaskörpers mit vielfachen Häuten, die An heftung des Glaskörpers mittelst Häute an die Linse, die Zusammen setzung der Linse aus Fasern, welche ihre Anfangspunkte theils in de Peripherie der Linse haben, theils aber nach den Beobachtungen vo Kölliker sich mit verdickten Enden an die Hinterfläche der Linsenkap sel zu heften scheinen, die gemeinschaftliche ringförmige Verbindung de Regenbogenhaut, der Aderhaut, der Netzhaut, der Linse und des Glas körpers im Bereiche des Ziliargürtels, das lose Aufliegen der Netzhaut au der Aderhaut und dem Glaskörper im Bereiche der ganzen Halbkugel welche die Netzhaut überzieht, mit einziger Ausnahme der Eintrittsstell des Sehnerven und des gezackten Randes, endlich aber das in §. 4 No. erwähnte, von Ruete beschriebene System von (unzweifelhaft motori schen) Nervenfäden, welches, jenseit des Augapfels am Sehnerven ent springend, sich so verästelt, dass einundderselbe Stamm durch sein Äste einen gewissen Bezirk der harten Haut, der Aderhaut, der Netzhau (wahrscheinlich auch des Glaskörpers), des Ziliarbandes und der Regen bogenhaut (wahrscheinlich auch der Linse) versorgt, deutet unverkennba auf gemeinschaftliche Formveränderungen der Netzhaut, des Aug apfels, des Glaskörpers, der Linse, überhaupt aller Theile des Auge ohne Ausnahme.

Diese vielseitige Abhängigkeit der einzelnen Organe des Auges von einander und namentlich die bezirksweise Ausbreitung der regierende Nerven und Fasern, sowie die besondere Art der Zusammensetzung eine jeden Oorgans aus seinen Elementen, giebt auch zu erkennen, dass sic jedes Organ gegen partielle Einwirkungen nicht wie ein anorganische flüssiger, weicher oder elastischer Körper verhält, welcher irgend ein Spannung mit möglichst gleichförmiger Vertheilung über seine ganz Masse fortpflanzt, dass vielmehr die einzelnen Theile eines solchen Or gans sich in gewissem Grade selbstständig, d. h. ohne Störung de übrigen Theile verändern, also dem Auge unsymmetrische Forme und Dichtigkeitsverhältnisse verleihen können. Wie die Pupille sic

schief oder in unregelmässigen Formen verzieht, ebenso ändert ohne Frage die Linse, der Glaskörper und der Augapfel Form und Dichtigkeit je nach der Lichtaffektion unsymmetrisch, und selbst wenn die Änderung symmetrisch ist, kann ihr Gesetz in mannichfaltiger Weise variiren. So kann z. B. die Linse sich nicht bloss unsymmetrisch verändern und verdichten, sondern auch Wölbungen annehmen, welche von der Kugelform sich bald der paraboloidischen, bald der ellipsoidischen mehr nähern. Den Fasern der Linse, welche in jeder Schale in Bogenform vom Rande gegen den Pol hin und zurücktreten (Fig. 33), von welcher also jeder einzelne ein gewisses Gebiet mehr oder weniger selbstständig beherrscht, ist die Möglichkeit hierzu offenbar gegeben: denn diese Struktur nöthigt zu der Annahme, dass die Formveränderungen vornehmlich durch Kontraktion dieser Fasern hervorgebracht werden, wozu die Impulse sich in sehr mannichfaltiger Weise über diese so zahlreichen, so verschiedenartig gekrümmten und an so verschiedenen Punkten endigenden Fasern vertheilen können.

§. 9.

Gehirnthätigkeit.

1. Allgemeine Beziehung zwischen dem Gehirne und dem Auge. Die Netzhaut und im weiteren Verlaufe der Sehnerv und das Gehirn verhalten sich dem vibrirenden Lichtäther gegenüber nicht wie eine unorganische, auch nicht wie eine nur von der Vegetationskraft durchdrungene, sondern wie eine unter der geistigen Kraft organisirte Masse. Bei der Reaktion zwischen der Aussenwelt und dem animalischen Individuum wird also nicht bloss das physikalische Gesetz, wie bei der Reaktion zwischen Licht und Glas, auch nicht bloss das Gesetz der Vegetations- oder Lebenskraft, wie bei der Reaktion zwischen Licht und Pflanze, sondern zugleich das Prinzip der geistigen Kraft eine Rolle spielen. Demnach kann bei dieser Wechselwirkung, welche die Bestimmung hat, die Welt mit dem Individuum in Verbindung zu bringen, Naturgrössen in individuelles Eigenthum zu verwandeln, das wesentlichste Merkmal der Geisteskraft, die Selbstbestimmung oder Selbstthätigkeit nicht fehlen.

Um diese Wechselwirkung zwischen der Aussenwelt und unserer Innenwelt zu ermöglichen, sind die äusseren Organe unseres Körpers, welche den Impuls der Aussenwelt empfangen, nicht bloss durch solche Nerven mit dem Gehirne verbunden, welche diesen Impuls nach dem Gehirne tragen können, sondern das Gehirn ist wiederum mit jenen Organen durch solche Nerven verbunden, welche die innere leitende Thätigkeit unter dem einheitlichen Prinzipe der Selbstbestimmung auf jene Organe fortzupflanzen vermögen. Möglich wäre es aber auch, dass gewisse Nerven gleichzeitig die Träger der vom äusseren Organe nach dem Gehirne und der vom Gehirne nach dem äusseren Organe gerichteten Thätigkeiten seien.

2. Motorischer Apparat. Die Akkommodation ist ein Ausfluss dieser Selbstthätigkeit. Die äussere Wirkung des Lichtes auf den Sehnerven veranlasst das Gehirn, den motorischen Apparat des Sensoriums in Thätigkeit zu setzen, um den Organen des Auges eine solche Form zu geben, in welcher sie jene äussere Wirkung in Beziehung auf die geometrischen Verhältnisse genau aufzunehmen vermögen. Die Akkommodation wird vielleicht durch besondere Nerven vollführt, welche dann zu den motorischen zu rechnen sind: jedenfalls beruht sie auf einer motorischen Thätigkeit.

Im weiteren Sinne gehört zu dieser Akkommodation auch die Einstellung der Augenaxe vermittelst der Augenmuskeln und die passende Stellung der Augenlider.

Übrigens muss ich ausdrücklich hervorheben, dass der motorische Apparat des Sensoriums, welcher die Akkommodation vollzieht, nicht mit demjenigen motorischen Apparate zu verwechseln ist, welcher die Muskeln (die Glieder, die Eingeweide, die Augenmuskeln und Augenlider u. s. w.) regiert. Der letztere Apparat bringt die eigentlichen Bewegungen und mechanischen Kraftäusserungen hervor und er ist es, welchen die heutige Physiologie ausschliesslich unter dem Namen des motorischen Apparates versteht. Was wir hier mit dem Namen des motorischen Apparates des Sensoriums belegen, beruht auf einer Erweiterung und Verallgemeinerung der Vorstellung von den motorischen Funktionen. Es ist möglich, dass der motorische Apparat des Sensoriums oder der Akkommodationsapparat ein integrirender Theil des allgemeinen motorischen Apparates sei; es ist aber auch möglich, ja sogar wahrscheinlicher, dass ersterer eine lokale Selbstständigkeit im Gehirne, nämlich im Sensorium hat.

3. Sensorium. — Visorium. Von besonderer Wichtigkeit ist diejenige Thätigkeit des Gehirnes, wodurch der von aussen kommende, in den eigentlichen Sehnervenfasern fortgepflanzte Lichteindruck zum Bewusstsein gelangt.

Nach meiner, schon in der Schrift „Körper und Geist" ausgesprochenen Ansicht, hat die eigentliche Sinnesempfindung ihren Sitz in dem äusseren Organe, welches direkt affizirt wird, der Lichteindruck also im Auge. Diese Behauptung mag auffallend erscheinen: allein man erwäge Folgendes. Jede Thätigkeit eines animalischen Organismus, mag dieselbe im Gehirne oder in einem anderen Theile des Körpers stattfinden, muss geistige Kraft bekunden oder Symptome davon zeigen, weil diese Kraft eine wesentliche Eigenschaft eines solchen Organismus und demnach aller seiner Theile ist. Der Geist wird nicht im Gehirne erzeugt: hier äussern sich nur gewisse Eigenschaften desselben, namentlich das Bewusstsein vermöge des zu diesem Zwecke besonders eingerichteten Organs.

Man sagt zwar in ungenauer Redeweise, der Geist sei die Resultante aller Kräfte des Organismus: allein ungleichartige Grössen lassen sich nicht zusammensetzen, und wenn die Kräfte der einzelnen Organe nicht schon geistig wären, wenn die Zellen des thierischen Organismus nicht schon von geistiger Kraft beseelt

wären, würde auch ihre Resultante nicht geistig sein können. Richtiger wäre es zu sagen, das Bewusstsein sei die Resultante aller geistigen Kräfte des Körpers.

Auch durch die äusserliche Einrichtung des Körpers rechtfertigt sich diese Auffassung. Die Nerven sind nur die Ausläufer des Gehirns. Vermittelst des Nervensystems spannt sich das Gehirn über den gesammten Körper; das eigentliche Gehirn ist nur ein Zentralorgan für gewisse Zentralfunktionen dieses Systems. Die Zentralfunktionen können nur als gleichartig mit den allgemeinen Funktionen der Nerven, welche sie hervorrufen, gedacht werden: die letzteren Funktionen müssen daher ebenfalls geistig sein, oder Nervensubstanz und Gehirn erscheinen als gemeinsame unmittelbare Träger des Geistes.

Geistige Regung ohne Bewusstsein, äussere Empfindung (wir haben kein bezeichnendes Wort für diese Affektion) veranlasst also schon der äussere Eindruck oder Reiz unmittelbar, und der durch ihn eingeleitete Nervenprozess stellt in seiner Stärke und stofflichen Beschaffenheit das Maass für jene Regung dar.

Zur Überführung dieser Empfindung in das Bewusstsein muss dieser Nervenprozess, welcher sich vom Auge durch den Sehnerven nach dem Gehirne fortpflanzt, im Gehirne eine Umbildung erfahren. Diese Umbildung wird in einem bestimmten Organe des Gehirnes vor sich gehen, welches hier das Visorium heissen und als ein Bestandtheil des sogenannten Sensoriums gedacht werden mag. Die materielle Thätigkeit des Visoriums in Beziehung auf Ort, Intensität und stoffliche Qualität wird also das Maass für die besonderen Eigenschaften sein, mit welchen der Lichteindruck zu unserem Bewusstsein gelangt.

Ich halte es für nothwendig, dass der Sehnerv, wie jedes andere Organ des Auges, durch eine besondere Gehirnanstrengung oder Spannung, zu seiner normalen Funktionirung befähigt werde. Im Schlafe fehlt diese Spannung und wir sehen daher in diesem Zustande nicht, wennauch das Auge durch Licht affizirt wird. Aufmerksamkeit ist der Name für die subjektive Willensthätigkeit, welche diese Spannung hervorruft. Da der äussere Lichtreiz die Veranlassung zu dieser Erregung des Gehirns ist; so folgt, dass jener Reiz auch für sich allein schon gewisse sensuellen Wirkungen hervorbringen muss. Das Bewusstsein des Gesehenen ist jedoch ausschliesslich durch jene subjektive Gehirnthätigkeit bedingt und die Schärfe des Sehens hängt davon ebenfalls ab, weil jene Thätigkeit die Spannung der Organe und die Präzision der Akkommodation bedingt.

Hieraus ist ferner klar, dass wir mit höherem und niedrigerem Grade von Aufmerksamkeit und Deutlichkeit sehen können, dass der äussere Lichteindruck, wenn keine Aufmerksamkeit dafür vorhanden war, ohne Bewusstsein bleiben, ja dass die materielle Veränderung, welche jener Lichtreiz auch ohne Aufmerksamkeit erzeugt, später, nachdem der Lichtstrahl längst erloschen ist, das geistige Bewusstsein wecken kann, dass so ein Objekt vor unserer Seele erstehen kann, welches vorher uns unbewusst Strahlen in unser Auge sandte.

Wenn das Auge in allen Stücken richtig akkommodirt ist, wird der

Sehnerv den Lichteindruck richtig aufnehmen. An dem in diesem Nerven entstehenden Prozesse sind alsdann drei Eigenschaften als wesentliche zu betrachten: der Ort dieses Prozesses oder die affizirte Primitivfaser, welche von den räumlichen Verhältnissen des Objektes abhängt; ferner die Intensität des Prozesses, welche von der Lichtstärke des Objektes abhängt, endlich die Art des Stoffwechsels oder der Chemismus, welcher von der Farbe des Objektes abhängt und bei welchem man sich nicht nothwendig eine eigentliche Entmischung, sondern nur einen periodischen Wechsel der stofflichen Beziehungen zu denken braucht.

4. Abhängigkeit der verschiedenen Nerventhätigkeiten. Wir haben im Vorstehenden mehrere Nerventhätigkeiten kennen gelernt, welche beim Gebrauche des Auges sich äussern müssen. Es werden verschiedene motorische und sensuelle Nerven hierbei in Anspruch genommen und hierzu kommen noch die Ernährungs- und Gefühlsnerven, welche die eigentliche Ernährung und das körperliche Gefühl in dem ganzen Apparate beherrschen.

In der That wird eine grosse Mannichfaltigkeit von Nervenfäden wahrgenommen, welche sich nach den verschiedensten Theilen des Gehirnes verzweigen, also die Betheiligung sehr verschiedener Zentralapparate vermuthen lassen.

Unter normalen Verhältnissen wird die Thätigkeit der einzelnen regierenden Nerven mit der Thätigkeit des davon regierten äusseren Organes, also auch mit dem äusseren Impulse oder Reize, welcher diese Akkommodationsthätigkeit veranlasst, in direktem Verhältnisse stehen; beide werden sich also proportional ändern. Unter besonderen Verhältnissen kann jedoch eine Differenz eintreten, und Diess wird sogar muthmaasslich nicht selten sein. Denn während der äussere Reiz nur von dem äusseren Objekte abhängt, ist die Nerven- und Gehirnthätigkeit, soweit sie die subjektive Betheiligung des Organismus an jenen Verwandlungsprozesse darstellt, doch von der subjektiven Kraft und sonstigen Fähigkeit oder von der Akkommodation und auch von den übrigen gleichzeitigen Nerven- und Gehirnprozessen abhängig.

Demnach kann ein Lichtstrahl das eine Mal mit anderen Eigenschaften zum Bewusstsein gelangen, als das andere Mal, wovon wir weiter unten, namentlich bei den Kontrasterscheinungen, zahlreiche Beispiele haben werden.

So wird ohne Frage die Thätigkeit des Visoriums abhängig sein von anderen Thätigkeiten des Gehirnes. Die verschiedenen Theile des Gehirnes werden sich gegenseitig hemmen und unterstützen können, da sie mehr oder weniger miteinander in Kommunikation stehen und die Kraftquelle, der Stoffwechsel für das ganze Gehirn ein begrenztes Maass hat. Im Allgemeinen werden sich diese Thätigkeiten, soweit sie auf dem Verbrauche eines gewissen Vorrathes von Kraft oder auf der Mitbenutzung derselben Zentral-Nervenleitung beruhen, einander beeinträchtigen. So sieht z. B. das Auge schlechter, wenn das Ohr einer Musik lauscht; mit der Vertiefung der Gedanken auf andere Gegenstände

übersieht selbst das offene Auge die in sein Gesichtsfeld fallenden Bilder; bei scharfer Beobachtung mit dem Auge überhört man starke Geräusche; heftiger Schmerz schmälert den Gebrauch der Sinne und der Muskeln; Gemüthsaffekte machen Schmerzen vergessen; starke mechanische Anstrengung, Verdauungsthätigkeit, Erhitzung, Fieber, hindert am Denken, am Sehen, am Hören, und umgekehrt. Das Maximalgewicht, welches man mit der rechten und mit der linken Hand heben kann, vermag man nicht mit beiden zugleich zu heben. Mit einem Finger kann man eine grössere Kraft ausüben, wenn man die anderen Finger nicht gleichzeitig anzustrengen braucht. Dass man in dunkeler Nacht, ja schon bei Tage mit geschlossenem Auge leiser hört und in lautloser Stille schärfer sieht, dass der Verlust eines Sinnes die übrigen schärft, und tausend ähnliche Erscheinungen beruhen auf der nämlichen Ursache der gemeinschaftlichen Inanspruchnahme derselben Kraftquelle oder derselben Zentralleitung.

Was hier von verschiedenen Organen gilt, welche aus derselben Quelle schöpfen, das gilt offenbar in erhöhtem Maasse von den einzelnen Fasern eines gemeinschaftlichen Nervenbündels, welche von verschiedenen Punkten desselben äusseren Organs kommend in ein gemeinschaftliches Zentralorgan des Gehirnes ausmünden. Je mehr Kraft jenes Gehirnorganes ein gewisser Theil dieser Fasern in Anspruch nimmt, desto weniger wird den übrigen zur Disposition stehen.

Würden also alle Punkte der Netzhaut gleichmässig und in derselben Weise erleuchtet; so würde ein jeder eine gleiche Thätigkeit in derjenigen Faser des Akkommodationsapparates, sowie auch in derjenigen Faser des Visoriums erwecken, welche zu seiner Bedienung funktionirt. Erhöht sich jetzt der Reiz auf einen Theil A jener Fasern, während er auf den anderen Theil B unverändert bleibt; so beanspruchen die ersteren Fasern eine grössere Thätigkeit der betreffenden Kraftquelle oder des betreffenden Gehirnapparates, und daraus folgt, dass die letzteren, obgleich ihr äusserer Reiz derselbe bleibt, doch nur eine geringere Thätigkeit von diesem Zentralapparate in Anspruch nehmen können, und Diess wird zur Folge haben, dass der Prozess in den Fasern des Sehnerven, welche dem Theile B entspricht, in den verschiedenen optischen Beziehungen mehr oder weniger beeinträchtigt wird, dass also auch der geistige Eindruck für diesen Theil von dem normalen sich entfernt.

Diese allgemeine Beeinträchtigung der einzelnen Nervenprozesse, welche aus der gemeinschaftlichen Inanspruchnahme derselben Kraftquelle entspringt, ist nicht zu verwechseln mit der induktorischen gegenseitigen Erregung der einzelnen Akkommodationsakte, welche sich auf einunddasselbe Element der Netzhaut beziehen und welche aus der Verflechtung der diese verschiedenen Akte besorgenden Nervenarten im Gehirne oder auf dem Wege zum Gehirne und aus der mit einer solchen Verflechtung entspringenden Induktion hervorgeht. Während sich also in Folge der Induktion die einzelnen Akkommodationsakte für denselben Punkt der Netzhaut unterstützen, beeinträchtigen sich in Folge der Gemeinschaftlichkeit der Kraftquelle die Thätigkeiten, welche derselbe Kraftapparat auf die verschiedenen Punkte der Netzhaut zu entwickeln hat.

5. Zusammenwirkung der Aussenwelt, des Nervensystems und des Gehirnes. Nach Vorstehendem sind beim Sehen oder bei der Empfängniss des geistigen Eindruckes von einem äusseren Gegenstande durch das Gesicht folgende drei Hauptprozesse zu unterscheiden.

Die äussere Thätigkeit des Lichtstrahles, welche im Wesentlichen in Äthervibrationen besteht. An dieser Thätigkeit sind charakteristisch: die räumlichen Verhältnisse (Ort, Richtung), die Schwingungsamplitude (Intensität) und die Vibrationsgeschwindigkeit (Farbe).

Der Impuls dieser äusseren Lichtthätigkeit auf das äussere Gesichtsorgan, das Auge, insbesondere auf die Netzhaut erzeugt in der affizirten Nervensubstanz einen animalisch-organischen Prozess, die optische oder sensuelle Nerventhätigkeit. Jener Impuls bildet den äusseren Reiz zu diesem Prozesse und beide müssten miteinander Maass und Schritt halten. Diess ist auch unter normalen Verhältnissen, jedoch nicht immer und unbedingt der Fall: denn der letztere Prozess ist nicht ausschliesslich von dem äusseren Reize, sondern auch von einer dritten hier in Betracht kommenden Thätigkeit abhängig.

Diese dritte Thätigkeit ist die Akkommodation des Auges. Die Akkommodation wird durch den äusseren Reiz veranlasst, und vom Gehirne durch eine besondere Thätigkeit, vielleicht durch die Vermittlung besonderer Nerven ausgeführt.

Wie schon erwähnt, ist die zweite Thätigkeit, nämlich die eigentliche optische oder sensuelle Thätigkeit des Sehnerven von dem äusseren Reize und dieser Akkommodationsthätigkeit zusammen abhängig, und unter der Herrschaft beider entsteht in dem Sehnerven ein Prozess, an welchem wir in Beziehung auf die räumlichen Verhältnisse des Objektes die betreffende Nervenfaser nebst den sich erzeugenden Affektionsrichtungen, in Beziehung auf Lichtstärke die Intensität und in Beziehung auf Farbe den Stoffwechsel in qualitativer Hinsicht unterscheiden.

Dieser letztere Nervenprozess stellt in seinem Ausgangspunkte im Auge die äussere Empfindung des Lichteindruckes dar. Wie aber jede Thätigkeit, um geistiges Eigenthum eines Individuums zu werden, um zum Bewusstsein zu gelangen, eines Zentralorganes oder doch einer besonderen Zentralthätigkeit im Gehirne bedarf, in welchem die äussere Nerventhätigkeit eine gewisse Umwandlung erleidet; so wird auch jener optische Nervenprozess in das Visorium geführt, um hier in diejenige Thätigkeit umgeändert zu werden, welche dem Bewusstwerden entspricht, oder vielmehr, mit welcher die Eigenschaft des Bewusstseins verknüpft ist.

Jedes Bewusstwerden schliesst die Assimilirung eines Fremden oder Äusseren in das Eigenthum des Individuums in sich. Es handelt sich also dabei immer um zwei Dinge: um das zu Assimilirende und um die Assimilation. Die Assimilation ist Selbstbetheiligung des Individuums bei diesem Akte, welche auf Selbstbestimmung beruht. Es muss und wird demnach bei der Aufnahme der optischen Nerventhätigkeit ins Visorium eine besondere Selbstthätigkeit des Gehirns statt-

finden. Die Akkommodation ist ein spezieller Ausfluss dieser Selbstthätigkeit.

6. Bemerkung über die Anatomie des Gehirnes und Nervensystems. Die Nerven, welche die Akkommodation verrichten, und der Zentralsitz des eigentlichen Akkommodationsapparates im Gehirne sind durch die Anatomie noch nicht nachgewiesen. Ja, noch nicht einmal das Sensorium, welches wir für den Gesichtssinn das Visorium genannt haben, ist als ein selbstständiges, durch irgend Etwas besonders markirtes Organ im Gehirne erkannt: man weiss nur, dass die Fasern des Sehnerven in verschiedenen Theilen des grossen Gehirnes von unbestimmter Form und Ausdehnung, von unbekannter Selbstständigkeit oder Verbindung mit dem übrigen Gehirne ausmünden. Alle Ansichten über die materielle Konstruktion und Funktion der einzelnen Nerven und Gehirnpartieen beruhen auf Schlüssen von vorn herein und aus der Analogie.

Wie der wahre Zusammenhang auch sei, so viel muss man meines Erachtens als unerschütterlich gewiss betrachten, dass jede Assimilation, d. h. jede Verarbeitung zum spezifischen Eigenthum des Organismus nicht bloss eine objektive, sondern auch eine subjektive Thätigkeit verlangt. Diess gilt sowohl von der Assimilation eines Stoffes, wie von der Assimilation einer Thätigkeit, also so gut von dem Wachsthum und von der Ausbildung des Körpers als auch von der körperlichen Empfindung und von der Sinneswahrnehmung.

Hiernach wird man mit Überzeugung annehmen können, dass bei der Erkenntniss der räumlichen Verhältnisse, der Stärke und der Farbe der affizirenden Lichtstrahlen nicht bloss der äussere Prozess des Lichtes, sondern auch eine innere, auf Selbstbestimmung beruhende Thätigkeit wirksam sein muss. Ohne Dieses könnte eine geistige Vorstellung unmöglich zu Stande kommen.

Es bleibt nur die Art und Weise ungewiss, in welcher diese Selbstbetheiligung erfolgt. Die Analogie führt uns in dieser Hinsicht zu der Annahme, dass die durch besondere Eigenthümlichkeiten sich auszeichnenden Thätigkeiten in besonderen Zentralapparaten ihren Sitz haben und durch besondere Nerven ihren Prozess fortpflanzen. Allein in dieser Hinsicht ist unsere Kenntniss von dem inneren Baue und der Funktionirung des Organismus noch so dürftig, dass wir leicht zu Irrthümern geführt werden können.

Namentlich zeigt das Gehirn nur wenig abgesonderte und selbstständige Organe und zwischen allen, wie ja auch zwischen dem grossen Gehirne, dem kleinen Gehirne und dem Rückenmarke besteht die innigste Verbindung. Demgemäss darf man nicht für jede besondere Funktion ein deutlich ausgeprägtes, als eigenthümliches Ganze hervortretendes Organ im Gehirne erwarten. Es ist möglich, dass der Akkommodationsapparat mit dem Sensorium und dieses mit dem Gesammtgehirne sich so vereinigt, dass man vergeblich nach isolirten Organen sucht. Die Akkommodation würde in diesem Falle nur eine besondere Funktion des Sensoriums oder Gehirnes sein, welche sich durch die Eigenthümlichkeit ihres materiellen

Prozesses und vielleicht durch die Inanspruchnahme besonderer Nervenzüge im Gehirne auszeichnete.

Und die Nerven, welche die Akkommodation vom Gehirne nach dem Auge vermitteln, brauchen Diess nothwendig besondere und gesonderte Fäden zu sein? Könnte nicht dieselbe Faser des Sehnerven, welche den aus dem Lichtimpulse auf die Netzhaut sich entwickelnden optischen Nervenprozess vom Auge nach dem Gehirne trägt, auch der Leiter für gewisse Akkommodationsthätigkeiten des Gehirnes in der Richtung vom Gehirne nach dem Auge sein? Für absolut unmöglich könnte man Diess wohl nicht erklären. Ist doch jeder anorganische Körper gleichzeitig der Leiter eines Lichtstrahles, eines Schalles, eines Wärmestromes, eines elektrischen Stromes u. s. w. in denselben und in entgegengesetzten Richtungen. Die Mathematik weis't nach, dass die ungestörte Durchdringung der Vibrationssysteme etwas ganz Natürliches ist, was wir auch bei der ungestörten Durchdringung der akustischen Töne und der optischen Strahlen tagtäglich beobachten.

Was aber speziell die Nerventhätigkeiten betrifft; so weis't auch der Zusammenfluss aller verschiedenartigsten Nerven und Nerventhätigkeiten im Gehirne und die induktorische Einwirkung derselben aufeinander darauf hin, dass in Beziehung auf Nerventhätigkeiten die Nervensubstanz nicht so exklusiv organisirt sein wird, um nicht gleichzeitig der Träger verschiedener Thätigkeiten sein zu können. In der That leitet ja ein Nerv sowohl seine spezifische Nerventhätigkeit, wie auch einen galvanischen Strom.

Hiernach würde es auch möglich erscheinen, dass einunddieselben Nerven die Vermittler des mechanischen Druckes und der Wärme sein können, wie es in Wirklichkeit der Fall zu sein scheint. Ferner würde es hiernach möglich sein, dass gewisse Nerven, welche motorische Verrichtungen haben, namentlich die vom Rückenmarke ausgehenden und die dem Willen entzogenen gleichzeitig den Ernährungsprozess versorgen.

Gleichwohl stellt sich einer solchen Annahme das allgemeine Gesetz der animalischen Organisation, welches für jede Thätigkeit besondere Organe schafft und die Einheit durch die Zusammenführung dieser Organe in Zentralsitze herstellt, mit grosser Entschiedenheit entgegen; ausserdem erfordert der Umstand, dass die verschiedenen Nerventhätigkeiten an verschiedenen äusseren Organen geäussert werden müssen, schon wegen der örtlichen Verschiedenheit dieser Organe eine besondere Nervenleitung für jede besondere Nerventhätigkeit.

Wir unterscheiden daher nicht bloss die vom Lichte erweckte optische Nerventhätigkeit, welche durch den Sehnerven vom Auge nach dem Gehirne führt, von der Akkommodationsthätigkeit, welche das Gehirn auf das Auge ausübt, sondern nehmen auch an, dass die Akkommodation besondere Nerven und besondere Zentralapparate erfordert.

7. Sensuelle und physiologische Thätigkeit. Die Thätigkeit des Visoriums, durch welche der eigentliche Sinneseindruck eines Gesichtsobjektes zum Bewusstsein gelangt, bildet die eigentliche Sinnes- oder

sensuelle Thätigkeit des Gehirnes: sie erzeugt die *Gesichtsvorstellung*.

Vermöge der Verbindungen des Visoriums mit dem übrigen Gehirne kann nun die Gesichtsvorstellung zu gar manchen Thätigkeiten des *Verstandes*, des *Gemüthes*, ja des materiellen Körpers, der *Vegetationskraft* u. s. w. Veranlassung geben.

So sind z. B. die Vorstellungen von Zuständen und Handlungen, die Gedanken und Ideen, die Gefühle und Gemüthsbewegungen, welche sich bei der Betrachtung eines Gemäldes einstellen, das Ergebniss der Einwirkung des Gesichtseindruckes auf den Gesammtgeist.

Umgekehrt werden die verschiedenen Beschäftigungen des Verstandes, die Regungen des Gemüthes, die körperlichen Empfindungen, die gleichzeitigen Sinnesthätigkeiten, die körperlichen Zustände eine Wirkung auf die Thätigkeit des Visoriums und des Auges selbst ausüben und dieselbe in mancherlei Weise beeinflussen.

Insbesondere hege ich die Ansicht, welche ich späterhin noch näher begründen werde, dass mit der *sinnlichen Vorstellung* eines Gegenstandes aus rein *subjektivem* Antriebe stets eine dem wirklichen Anblicke desselben mehr oder weniger nahe kommende *Akkommodation des Auges* und jedenfalls eine dem Deutlichkeits- oder Lebhaftigkeitsgrade der Vorstellung entsprechende *Tendenz* zu jener Akkommodation, sowie ein optischer *Nervenprozess* in den Sehnerven verbunden ist. Ein direktes Anzeichen dieser Thatsache sind die *Bewegungen*, welche das Auge selbst unter den geschlossenen Augenlidern bei dem Wechsel der sinnlichen Vorstellungen ausführt, die fühlbaren *Akkommodationsveränderungen* auf die Nähe und Ferne und die *Anstrengungen*, welche es dabei erleidet.

Geistige Vorstellung eines Objektes (ohne äusseren Lichtreiz) ist durchaus nichts Anderes, als eine durch die *Willenskraft* hervorgerufene sensuelle Thätigkeit des Visoriums, welche genau der Thätigkeit congruent ist, die bei dem gewöhnlichen oder normalen Hergange der Dinge vermittelst des *äusseren Sehorgans*, des *Auges*, durch den *Lichtreiz eines wirklichen Objektes* erzeugt wird. Die Möglichkeit dieses indirekten Vorganges, dieser *selbsteigenen* Arbeit des Gehirnes nach Regeln, zu deren Verwirklichung es bei normalem Vorgange des Lichtimpulses eines äusseren Objektes bedarf, stützt sich lediglich auf die *mit dem Gebrauche des Gesichtes erlangte Übung und Ausbildung des Visoriums*. Hieraus entspringt die Fähigkeit der *Erinnerung* und der *Reproduktion* (vergl. auch in dieser Hinsicht meine Schrift „*Körper und Geist*“).

Diese auf *Übung* beruhende Ausbildung des Visoriums, welche die Vorstellung *wirklicher Dinge* ohne äusseren Reiz oder die *Reproduktion* und die *Erinnerung* ermöglicht, ist nicht zu verwechseln mit der allgemeinen *Fähigkeit* dieses Organs, sensuell thätig zu sein oder Gesichtsvorstellungen schlechthin zu erwecken. Die Grundfähigkeit des Visoriums, überhaupt zu *arbeiten* oder den vom Auge herkommenden Prozess des Sehnerven zu einer *geistigen Erkenntniss* umzubilden, beruht ebenso wenig auf Übung, wie die Fähigkeit des Menschen zu *sehen*, d. h. die Fähigkeit des Sehnerven, *Ätherimpulse* in einen

optischen Nervenprozess zu verwandeln. Diese Fähigkeit ist eine dem Wesen des animalischen Organismus inhärirende Eigenschaft, wie jede Empfänglichkeit oder Reizbarkeit. Inzwischen erfordert jede Eigenschaft und so auch diese subjektive Arbeitsfähigkeit des Visoriums, um mit gewisser Kraft und regelrechter Sicherheit zu funktioniren, der Ausbildung. Diese Ausbildung ist im Wesentlichen nicht Sache der Übung oder Erfahrung, ebenso wenig wie das allgemeine Wachsthum des Körpers es ist, sondern Sache der mit dem Wachsthum des Körpers vor sich gehenden natürlichen Entwicklung des Organismus. Übung und Erfahrung fördern eine regelrechte Entwicklung, wie der Gebrauch der Beine das Gehenlernen beschleunigt, ohne doch die zum Gehen erforderlichen subjektiven Fähigkeiten, Grundkräfte und Eigenschaften zu schaffen; sie weisen auch der Entwicklung gewisse Richtungen an, wie sich der Mensch durch Gewöhnung einen besonderen Gang aneignen kann: ja es ist möglich und sogar sehr wahrscheinlich, dass ohne Übung, d.h. ohne faktischen Gebrauch eines Organs die Entwicklung desselben nicht vor sich gehen wird: allein immer schafft doch selbst in dem letzteren Falle die Übung nicht Grundfähigkeiten, sondern wirkt nur ausbildend.

Nennen wir Kraft die zu irgend einer Thätigkeit erforderliche Grundeigenschaft; so sind die Kräfte dem Organismus als solchem eigen und hängen durchaus von keinen anderen Bedingungen, als den Bedingungen der Existenz des Organismus ab. Eine Kraft oder Grundeigenschaft dieser Art ist die Eigenschaft, äussere Objekte zu sehen. Fähigkeiten im gewöhnlichen Sinne des Wortes sind alsdann die höheren Grade der Kraft: dieselben entspringen aus der Entwicklung des Organismus: sie setzen prinzipiell keinen faktischen Gebrauch der Kraft, keine Übung und Erfahrung voraus: auf jeder Entwicklungsstufe hat die Grundkraft ja selbstverständlich einen gewissen Grad und dieser bildet die Fähigkeit jener Kraft in dem betreffenden Entwicklungsstadium. Fähigkeit in dieser Hinsicht bezieht sich also eigentlich auf die Intensität oder Stärke der fraglichen Grundkraft und kann auch Tüchtigkeit genannt werden. Bei jeder Thätigkeit handelt es sich aber ausser um die Intensität oder das Quantitative, noch um die Art und Weise der Ausführung, um ihre Richtung, um die Qualität der Arbeit. Die Letztere kann nur auf dem faktischen Gebrauche beruhen, weil faktische Ausführung ihre Voraussetzung ist, während die vorher genannte Fähigkeit zur Ausführung die Ausführung selbst nicht voraussetzt. In die Kategorie dieser Eigenschaft gehört die Leichtigkeit und Sicherheit des Gebrauches einer Kraft und überhaupt die Fertigkeit oder die Vollkommenheit derselben im gewöhnlichen Sinne des Wortes.

Dass der Gebrauch einen Einfluss auf die Entwicklung, also auf die Intensität und Fähigkeit an sich habe, ist selbstverständlich, wie auch umgekehrt die Entwicklung einen gewissen Einfluss auf die allgemeine Vollkommenheit einer Kraft, auf die Fertigkeit im Gebrauche, auf die Qualität der Leistung äussert. Es scheint mir jedoch wichtig, das Prinzipielle dieser beiden Merkmale gehörig auseinander zu halten und namentlich gegen die in der heutigen Naturforschung

sich vordrängende Meinung zu protestiren, dass die Grundfähigkeiten des Menschen auf dem Gebrauche, auf Übung und Erfahrung beruhen.

Ausserdem behaupte ich, dass die Fähigkeit zu sehen eine besondere, eigenthümliche, selbstständige Kraft des Organismus ist, wie die Fähigkeit zu denken, dass diese beiden Fähigkeiten prinzipiell nicht voneinander abhängen, dass also zum Sehen kein Denken, d. h. keine Verstandesoperation, keine Reflexion erforderlich ist, wie zum Denken kein Sehen, überhaupt keine Sinnesthätigkeit nöthig ist. Dass die Sinne dem Verstande erst ein gewisses Material zur Verarbeitung geben und dass umgekehrt der Verstand uns in vieler Hinsicht den Gebrauch der Sinne vorschreibt, dass ferner die Fähigkeit zu sehen und die Fähigkeit zu denken durch das in der Einheit des Organismus liegende gemeinschaftliche Band verschlungen sind, ist ebenso selbstverständlich, als unwesentlich für die voranstehende Behauptung.

Der Mensch kann also von Haus aus sehen und das Vermögen scharf zu sehen und zu erkennen, wächst mit dem Organismus von selbst. Allein Vorstellungen von äusseren Objekten kann der Mensch nur durch wirkliches Sehen solcher Objekte, also durch den Gebrauch seines Sehorgans haben, und den leichten, kräftigen und normalen Gebrauch dieses Organs, sowie auch die Erweckung einer sensuellen Thätigkeit des Visoriums auf dem ungewöhnlichen Wege, durch die Willenskraft, namentlich die Reproduktion gesehener Objekte und die Produktion ungesehener Objekte kann wesentlich nur ein Resultat der Übung und Erfahrung sein.

Demgemäss kann ein Blindgeborener trotz des möglichen Vollbesitzes aller organischen Kräfte sich keine Vorstellung von der Gestalt und Farbe äusserer Gegenstände machen. Möglich ist es übrigens, ja sogar wahrscheinlich, dass derselbe sein Visorium durch die Willenskraft in Thätigkeit zu setzen vermag: diese Thätigkeit wird aber nicht dieselbe sein, welche der Reiz des Lichtes durch das Auge erzeugt; die Gesichtsvorstellungen des Blindgeborenen können daher den Eigenschaften des Raumes, der Farbe und der Helligkeit wirklicher Dinge nicht entsprechen, sondern müssen abnorme Affektionen sein.

Ein Erblindender behält die erworbene Fähigkeit der Reproduktion von Gesichtsvorstellungen. Beruhte übrigens die Blindheit auf einer Zerstörung des Visoriums; so müsste auch diese Fähigkeit verschwinden.

Das Visorium und das Auge kann übrigens ausser durch die Willenskraft, durch andere Affektionen, namentlich durch das Blut bei Fieberphantasien oder durch gewisse Nerveninduktionen in Krankheiten und im Traume (vergl. „Körper und Geist" §. 14) affizirt und zur Produktion von Gesichtsvorstellungen angeregt werden. Je abnormer die Erregung, wie namentlich in der Krankheit ist, desto abnormer werden auch die Erscheinungen sein.

Wir sind im Vorstehenden von der Annahme ausgegangen, dass bei der Erzeugung einer geistigen Vorstellung von einem äusseren Dinge sowohl das Ding, wie der Mensch thätig sein muss. Da das Ding und der Mensch verschieden sind und verschiedene Thätigkeiten entwickeln; so kann aus der Verschmelzung dieser beiden heterogenen

Thätigkeiten weder das Ding selbst, noch auch diejenige Eigenschaft des Dinges, vermöge deren es thätig ist, hervorgehen: die geistige Vorstellung muss also ganz etwas Anderes sein, als die Wirklichkeit. Trotz dieser Verschiedenheit besteht doch zwischen unserer Vorstellung von einem Dinge und dem Dinge selbst eine innige Verbindung; gleiche Eigenschaften thun gleiche Wirkungen und demnach entsprechen unseren Vorstellungen immer Dinge der Wirklichkeit, welche unter sich in derselben Beziehung stehen, wie unsere Vorstellungen unter sich stehen; unsere Vorstellungen sind entsprechende Bilder der wirklichen Dinge, wennauch die Art Beider eine andere ist; wir können von zwei sichtbaren Objekten immer behaupten, dass sie dieselbe Grundeigenschaft (Räumlichkeit) besitzen und dass diese Eigenschaft an dem einen in bestimmtem Verhältnisse stärker ausgeprägt ist, als an dem anderen.

Unsere Vorstellungen stehen also mit den wirklichen Dingen in der Beziehung, dass sie sich mit denselben proportional verhalten: allein über die Artbeschaffenheit, die Grundeinheit der wirklichen Dinge sagen sie Nichts aus. Diese Art ist es eben, welche sie von uns selbst empfangen: indem wir den objektiven Eindruck aufnehmen, verwandeln wir ihn durch die subjektive Mitthätigkeit, durch die geistige Assimilation in ein Wesen von unserer Art. Das Spezifische der Vorstellung und der Empfindung, also der Begriff von Räumlichkeit und die Empfindung von Licht und Farbe sind Eigenschaften, welche wir den Dingen zuschreiben, weil unser geistiges Denken und Empfinden sich darin bewegt, weil es Grundformen oder Grundeigenschaften des menschlichen Denkens und Empfindens sind.

§. 10.

Sehen mit zwei Augen.

1. Verdopplung der Gesichtsorgane. Die Verdopplung der Gesichtsorgane hat offenbar für das Sehen keinen prinzipiellen Zweck: denn diese Organisation ist zum Sehen nicht unbedingt nöthig; der Einäugige sieht ebenfalls und der Zweiäugige kann mit einem Auge sehen. Diese Einrichtung entspringt daher jedenfalls aus einem anderen Organisationsplane: sei es die äussere Symmetrie, sei es die grössere Vollständigkeit oder Vollkommenheit der Funktionirung der Sehorgane, sei es die zweckmässigere Affektion des Gehirnes durch symmetrische Angriffe, sei es die grössere Sicherstellung des Menschen gegen etwaige Beschädigungen, sei es die Vergrösserung des Gesichtsfeldes oder ein ähnliches Motiv.

Nur in einer Beziehung hat die Verdopplung des Auges in optischer Hinsicht eine wesentliche Bedeutung. Die Eintrittsstelle des Sehnerven ist zwar mit Weisheit nicht in die optische Axe des Auges gelegt, sodass die Deutlichkeit der Lichtbilder unter gewöhnlichen Umständen nicht unter den mit diesem Eintritte verbundenen Störungen leidet: allein bei dem Vorhandensein nur eines Auges würde doch häufig, wennauch nicht im Bezirke des ganz deutlichen Gesichtsfeldes, doch in der Nachbarschaft die

Verdunklung oder *Verundeutlichung* eines Fleckes unangenehm sein, welcher in einiger Entfernung schon grosse Objekte verdecken kann. Bei dem Sehen mit *zwei* Augen kann eine solche Verdunklung nicht vorkommen, da das Bild eines neben dem fixirten Objekte liegenden Gegenstandes, welches in dem einen Auge auf den *Sehnerven* fällt, in dem anderen Auge auf der entgegengesetzten Seite der optischen Axe liegt, also in *einem* Auge immer *sichtbar* ist.

Übrigens werden wir die Wirkungen des *unempfindlichen Fleckes* in §. 23 noch einer näheren Betrachtung unterziehen.

2. Vereinigte und gesonderte Wirkung beider Augen. Die Lichteindrücke, welche beide Augen empfangen, bewirken eine Affektion des Gehirnes, welche unter normalen Verhältnissen eine einfache Vorstellung von dem Objekte erzeugt. Jedes Auge richtet sich mit seiner Axe auf das Objekt; die *konvergirenden* Richtungen verschmelzen sich aber so, dass wir die Richtung, in welcher das Objekt vor uns liegt, nach der *Mittellinie des betreffenden Dreieckes* bemessen (§. 18 No. 1). Diese Verschmelzung der Richtungen der beiden Augenaxen beruht im Wesentlichen auf einer *Resultantenbildung* aus zwei konvergirenden Richtungen, in welchen die beiden Augen das Objekt erblicken. Eine solche Verschmelzung der beiden Sehrichtungen zeigt sich schon desshalb als eine Nothwendigkeit, weil die *Konvergenz der Augenaxen*, also die *absolute Richtung jedes einzelnen Auges* von ganz anderen, als den auf die *Richtung* bezüglichen Affektionen, namentlich von der *Akkommodation auf die Entfernung* beeinflusst wird (§. 6 No. 23).

Dass beim Sehen mit *zwei* Augen die *Konvergenz der beiden* Augenaxen durch die *Akkommodationsthätigkeit* energisch induzirt wird, kann man bei der Betrachtung stereoskopischer Bilder erkennen. Man empfindet deutlich den unbewussten *Drang*, die objektiv zusammengehörigen Bilder, welche sich in den beiden Augen erzeugen, zusammenzuführen. Wenn die gegenseitige Stellung der beiden Stereoskopieen auch nicht die richtige ist, wenn sie nur nicht allzuweit von der richtigen sich entfernt, führen die Augen die anfangs getrennt erscheinenden Bilder endlich zusammen. Namentlich macht sich dieser unwillkürliche Vereinigungsdrang alsdann sehr fühlbar, wenn die Augen nicht unstät über die ganze Bildfläche schweifen, sondern das Doppelbild eines einzelnen Punktes zu fixiren suchen (vergl. auch §. 13 No. 9).

Über die *materielle Ursache*, welche unbewusst *beide* Augenaxen auf denselben Punkt führt, den wir zu fixiren beabsichtigen, werden wir weiter unten in §. 13 No. 10 spezielle Betrachtungen anstellen.

Wenn man nur mit *einem* Auge einen Gegenstand fixirt, konvergirt das *geschlossene* oder *verdeckte* Auge ebenfalls, jedoch nicht *vollkommen*. Der Konvergenzwinkel ist alsdann stets *zu klein*, d. h. die Axe des unthätigen Auges weicht von der richtigen Konvergenzrichtung nach der Seite der *Parallelstellung* ab. Hiervon kann man sich überzeugen, wenn man das geschlossene oder verdeckte Auge rasch öffnet. Man findet dann, dass dasselbe nicht genau auf das Objekt gerichtet ist: das Objekt erscheint doppelt, und zwar weicht das Doppelbild, welches dem linken Auge entspricht, rechts, und dasjenige, welches

dem rechten Auge entspricht, links ab, wie es bei zu kleinem Konvergenzwinkel auch sein muss.

Aus dem Nachfolgen des geschlossenen Auges bei der Akkommodation des sehenden Auges auf Objekte, welche in derselben Richtung, aber in verschiedener Entfernung liegen, geht recht deutlich der Einfluss der Akkommodation auf die Axenkonvergenz und die Nothwendigkeit hervor, dass wir nur die Resultante der beiden Augenrichtungen empfinden, weil sonst der Blick mit einem oder mit zwei Augen uns eine ganz verschiedene Vorstellung über den Ort des Objektes geben würde.

Übrigens findet diese Verschmelzung der beiden Sehrichtungen nur unter den normalen Verhältnissen des Sehens bei gehöriger Fixirung des Objektes statt. Die wesentlichen Bedingungen, welche erfüllt sein müssen, damit diese Verschmelzung eintritt und das Objekt einfach erscheint, werden wir in der nächsten Nummer angeben.

Wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, erhalten wir von jedem Auge eine besondere Gesichtsvorstellung, wir sehen das Objekt doppelt. Dieser Fall tritt ein, wenn man das Objekt nicht fixirt.

Wenn man also an einem nahen Gegenstande vorbei auf einen entfernten sieht; so trennen sich die Umrisse des ersteren, und die beiden Konturen entsprechen den Projektionen, welche das rechte und das linke Auge von dem nahen Gegenstande auf den entfernten Hintergrund wirft. Hiervon überzeugt man sich leicht, indem man einmal das eine und einmal das andere Auge schliesst oder verdeckt. Das Nämliche ergiebt sich, wenn man auf einen nahen Gegenstand sieht und dabei die Figur eines entfernten Gegenstandes beachtet, welcher alsdann zwei verschiedene Umrisse annimmt.

Um diese Erscheinung deutlich und mit Bewusstsein zu sehen, muss man allerdings so viel Beobachtungsgabe haben, dass man, indem man einen Gegenstand fixirt, zugleich die Aufmerksamkeit einem anderen zuzuwenden vermag. Ich habe gefunden, dass Diess Manchem schwer wird.

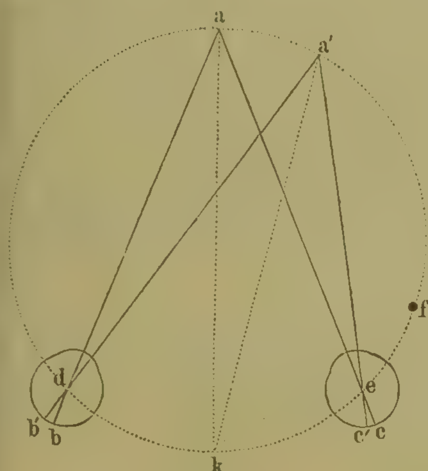
Eine unmittelbare Folge dieser Verschiedenheit der Thätigkeit beider Augen besteht darin, dass es schlechterdings unmöglich ist, mit beiden Augen über das Korn eines Gewehres hinweg nach einem Gegenstande zu zielen. Man kann sich wohl daran gewöhnen, beim Zielen, sowie beim Nivelliren oder beim Visiren überhaupt beide Augen geöffnet zu halten, was sogar nützlich ist, um die durch das Zudrücken eines Auges entstehende Anstrengung der Augen zu vermeiden; allein alsdann visirt man doch immer nur mit einem Auge, nicht mit beiden, und findet eine Erleichterung darin, das unthätige Auge mit einem Schirme zu verdecken, welcher jede Nebenstörung abhält.

No. 3. Korrespondirende Netzhautstellen. Die Bedingungen, unter welchen man mit beiden Augen einfach oder doppelt sieht, und die Richtungen, unter welchen man in beiden Fällen das Objekt erblickt, bedürfen noch einer näheren Feststellung.

Es seien in Fig. 83 *db*, *ec* die Axen des linken und rechten Auges und *b*, *c* die Pole oder die Mittelpunkte der Bezirke des deutlichen Sehens

Um einen Punkt *a* deutlich und scharf zu sehen, richten beide Augen ihre Axen auf denselben, sodass das Netzhautbild von *a* in den Polen *b*, *c* beider Augen entsteht. Unter solchen Umständen liefern die Affektionen der beiden Netzhautpunkte *b*, *c* nur eine einfache Gesichtsvorstellung von dem Punkte *a*, und zwar erblicken wir denselben in der Mittellinie des Winkels *bac* oder in der Axe *ka* des Kopfes.

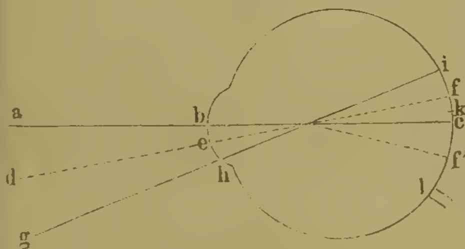
Fig. 83.



Wenn sich neben dem Punkte *a*, welchen wir fixiren, ein zweiter Punkt *a'* befindet; so erzeugt derselbe Netzhautbilder in *b'* und *c'*. Diese beiden Bilder ergeben einen einfachen Gesichtseindruck nur dann, wenn die Radien *bb'* und *cc'* der um die Pole *b* und *c* beschriebenen Kreise gleich lang sind, wenn sie auf derselben Seite der Axen *bd* und *ce* liegen und für die parallele Stellung der Augenaxen einander parallel sind, sodass also bei paralleler Augenstellung *db'* und *ec'* zwei parallele Seiten in zwei ganz gleichen Kegeln sind. Zwei solche Stellen wie *b'* und *c'*, welche also beide entweder links oder rechts oder oberhalb oder unterhalb oder überhaupt nach derselben Seite von den Polen der Sehaxen und gleich weit davon entfernt liegen, heissen korrespondirende oder identische Netzhautstellen.

4. Die geometrische, die optische und die physiologische Axe. — Das Sehfeld. Um die Begriffe scharf zu fixiren, sind folgende Punkte und Linien im Auge von einander zu unterscheiden. Zunächst die geometrische Axe, also die Linie *bc* (Fig. 84), um welche das Auge nahezu symmetrisch geformt ist oder in allen seinen Thleilen nahezu eine Rotationsfigur bildet, eine Linie, welche mit der geometrischen Axe der Linse und der Hornhaut zusammenfällt. Der Punkt *c*, in welchem diese Axe die Netzhaut trifft, ist der geometrische Pol des Auges. Wäre in einem abnormen Falle die Linse aus ihrer normalen Lage verschoben; so wollen wir die geometrische Axe nach der Hornhaut bestimmen.

Fig. 84.



Ferner die optische Axe. Hierunter verstehe ich diejenige Richtung, in welcher sich die wirksamsten Strahlen eines parallel einfallenden Strahlenbündels parallel zu den äusseren Strahlen fortsetzen, und wenn diese Eigenschaft mehreren Einfallsrichtungen zukom-

men sollte, diejenige von diesen Richtungen, bei welcher der innere wirksamste Strahl nicht bloss die äussere Richtung beibehält, sondern auch ganz und gar in der Linie des äusseren Strahles verbleibt. Der Punkt, in welchem die optische Axe die Netzhaut trifft, sei der optische Pol.

In einem normalen Auge fällt die optische Axe mit der geometrischen *bc* zusammen. Wenn jedoch irgend ein Medium, z. B. die Linse, nicht normal gebildet wäre, wenn also ihre Form oder Dichtigkeit rings um ihre geometrische Axe nicht symmetrisch vertheilt oder wenn sie aus ihrer richtigen Lage seitwärts verschoben oder verdreht wäre, würde die optische Axe von der geometrischen abweichen. Allgemein sei also *def* die optische Axe.

Wenn die optische Axe *ef* von der geometrischen *bc* abweicht, wird auch ein in der Richtung der geometrischen Axe einfallender Strahl *ab* nicht auf den geometrischen Pol *c*, sondern in einen Punkt *f'* der Netzhaut fallen, welchen wir den optischen Pol der Axenstrahlen nennen wollen.

Alsdann kömmt der Punkt *i* in Betracht, auf welchem das einzelne Auge das Netzhautbild eines fixirten Objektpunktes führt und dessen gemeinschaftliche Affektion in beiden Augen den äusseren Punkt als einfach erscheinen lässt. Diesen Punkt nenne ich den physiologischen Pol des Auges und die Richtung des dorthin führenden Strahles *gi* die pysiologische Axe. Der Punkt *i* ist der Mittelpunkt des Sehfeldes. Die Sehfelder beider Augen enthalten in relativ gleicher oder homologer Lage gegen den physiologischen Pol die identischen oder korrespondirenden Netzhautstellen. Zwei nicht korrespondirende Netzhautpunkte heissen auch wohl differente Punkte. Um die einzelnen Punkte der beiden Sehfelder auf einander beziehen zu können, genügt offenbar nicht der Pol *i* als Ausgangspunkt der Vergleichung: es bedarf vielmehr noch eines korrespondirenden Meridians. Wir nennen daher denjenigen durch den Pol *i* gehenden Meridian, dessen Ebene vertikal steht, den physiologischen Meridian des Auges. Der korrespondirende Meridian des anderen Auges muss in normalen Augen ebenfalls vertikal stehen: allgemein können jedoch die korrespondirenden Meridiane verschiedene Stellungen haben.

In einem vollkommenen Auge sollte der physiologische Pol *i* mit dem geometrischen zusammenfallen. In der Wirklichkeit weichen beide jedoch häufig voneinander ab. Helmholtz hat an sonst guten Augen eine Abweichung des physiologischen Poles nach aussen, d. h. nach dem Schläfenbeine gefunden (Physiologische Optik in der Enzyklopädie der Physik, S. 70).

Endlich ist der Punkt *k* zu unterscheiden, in welchem das Auge vermöge der Organisation der Netzhaut oder der benachbarten Organe am deutlichsten oder schärfsten sieht und welcher der Pol des deutlichen Sehens heissen soll.

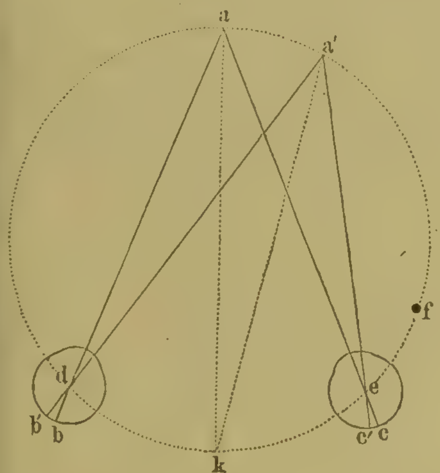
Bei ganz normalen Augen sollte dieser Punkt mit dem physiologischen Pole *i*, dem geometrischen Pole *c* und dem optischen Pole *f* zusammen in den Mittelpunkt des Bezirks des deutlichen Sehens oder des gelben Fleckes fallen. Kleine Abweichungen aller dieser Punkte voneinander wird aber das allgemeine Loos jedes Auges sein.

Dass alle genannten Punkte Nichts mit der Eintrittsstelle l des Sehnerven, dem unempfindlichen oder blinden Flecke, und alle jene Axen Nichts mit der Axe des Sehnerven gemein haben, leuchtet ein.

Es wird noch bemerkt, dass in einem normalen Auge die Lage der vier Punkte c, f, i, k von der Akkommodation unabhängig ist, dass jedoch in einem fehlerhaften Auge die Akkommodation auf eine andere Sehweite eine Verrückung des geometrischen und des optischen Poles in Folge unsymmetrischer Veränderungen der brechenden Medien und des Augapfels zur Folge haben kann.

5. Horopter. Da nach den gestellten Bedingungen für das Einfachsehen mit beiden Augen in Fig. 85 der Winkel $da'e$ gleich dem Winkel dae ist; so muss, wenn beide Augenaxen mit dem Punkte a in einer Horizontalebene liegen, der Punkt a' in dem durch den fixirten Punkt a und die beiden Kreuzungspunkte d, e der Augen gehenden Kreise liegen. Der horizontale Durchschnitt der Fläche, deren einzelne Punkte Bilder auf korrespondirenden Netzhautstellen werfen und demgemäss bei der Fixirung des horizontal vor der Mitte der Augen oder in der horizontalen Kopfaxe ka liegenden Punktes a einfache Gesichtseindrücke (wenn auch mit unsicheren Umrissen) erzeugen, ist hiernach eine Kreislinie $dea'a$, der sogenannte Horopter, welchen wir zu besserer Unterscheidung einen Horopterkreis nennen wollen.

Fig. 85.



Der vertikale Durchschnitt dieser Fläche, welcher durch den Punkt a geht, ist offenbar eine vertikale gerade Linie.

Die eben bezeichnete Fläche der gleichzeitig einfach gesehenen Punkte, bildet also im Bezirke des deutlichen Sehens nahezu einen Zylinder mit kreisförmiger Basis, welcher durch den fixirten Punkt a, die Kreuzungspunkte d, e der beiden Augen geht und auf der Ebene ade normal steht (welches auch der Ort des fixirten Punktes a sei). Genau stellt diese Fläche keinen Zylinder, sondern eine Fläche dar, in welcher jede durch die Kreuzungspunkte d, e der beiden Augen gelegte Ebene einen Kreisdurchschnitt oder einen Horopterkreis bildet, dessen Peripherie durch die Augenpunkte d und e und durch den betreffenden Punkt der in dem fixirten Punkte a auf der Ebene ade errichteten Normalen geht. Man kann daher die fragliche Fläche die Horopterfläche für den fixirten Punkt a nennen.

Jeder Horopterkreis hat die Eigenschaft, dass man irgend einen seiner Punkte, z. B. den Punkt a', mit den Augen d, e fixiren kann, ohne dass die übrigen Punkte aufhören, einfach zu erscheinen. Dieser

Satz lässt sich, wie leicht zu erachten, nur von einem Horopterkreise, nicht von einer Horopterfläche aussprechen. Diese Fläche ändert sich immer, sowie man einen anderen Punkt fixirt.

Eine über der Linie *ak* als Durchmesser beschriebene Kugel hat die Eigenschaft, dass wenn man irgend einen ihrer Punkte fixirt, der Punkt *a* stets in der zugehörigen Horopterfläche liegt, also stets einfach erscheint.

Wenn man statt des normal vor dem Gesichte liegenden Punktes *a* des Horopterkreises irgend einen anderen Punkt a' dieses Kreises fixirt; so ist zwar der Konvergenzwinkel $da'e$ der Augenaxen dem früheren *dae* gleich: allein dessenungeachtet erfordert das Sehen des seitwärts liegenden Punktes a' eine grössere Anstrengung der Augen und erfolgt doch nicht mit gehöriger Vollkommenheit.

Überhaupt kann man bei gerader Haltung des Kopfes mit aller Schärfe, Deutlichkeit und sonstigen Vollkommenheit nur einen Punkt *a* sehen, welcher in der Axe *ka* des Kopfes oder doch in der durch diese Axe gehenden Vertikalebene liegt. Richtet man die Augen auf einen seitwärts liegenden Punkt a'; so sind die Entfernungen da' und ea', auf welche sich jedes Auge zu akkommodiren hat, ungleich. Nun ist zwar die Akkommodationsfähigkeit jedes Auges bis zu einem gewissen Grade selbstständig: allein das eine Auge beeinflusst hierbei doch auch das andere, und hieraus entspringt eine unvollkommene Gesammtakkommodation. Dieser Mangel tritt umso stärker hervor, je näher der Punkt a' dem einen Auge *e* rückt. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man rechts neben das rechte Auge eine Nadel *f* hält, deren Entfernung *ef* von diesem Auge unter der Sehweite des deutlichen Sehens liegt, während die Entfernung *df* von dem linken Auge diese Weite noch überschreitet. Alsdann kann man die Nadel mit dem linken Auge noch scharf, mit dem rechten Auge jedoch nur undeutlich sehen, und es ist klar, dass jetzt bei dem Sehen mit beiden Augen keine gleichmässige und vollkommene Schärfe mehr möglich ist. Bei dem Blicken auf *f* waltet dann der deutlichere Eindruck des Auges *d* vor und Diess hat zur Folge, dass man das undeutlichere Bild im Auge *e* wenig beachtet, ausserdem aber auch, dass das Auge *e*, welches nur mit grosser Anstrengung zu der bestmöglichen Akkommodation genöthigt werden kann, noch nicht einmal diese Akkommodation, sondern eine schwächere annimmt, indem gleichzeitig seine Axe sich mehr parallel zu der der Axe des anderen Auges stellt oder den Konvergenzwinkel *dfe* verringert, was denn sofort mit einem Doppelsehen der Nadel *f* verbunden ist.

Die Punkte, welche von jedem Auge eine gleiche, gegebene Sehweite *da* haben, liegen offenbar in dem durch *a* gehenden, mit dem Radius *ka* beschriebenen vertikalen Kreise. Von einer horizontalen Linie und von einer Fläche, deren Punkte sich von beiden Augen mit gleicher Akkommodationsthätigkeit fixiren liessen, kann also keine Rede sein. Näherungsweise würde die Kugelfläche, deren Mittelpunkt *k* ist, diese Eigenschaft besitzen, da für deren Punkte die mittlere Sehweite *ka* beider Augen konstant ist. Je grösser der Radius *ka* dieser Kugel oder die mittlere Sehweite ist, desto geringer ist der Unterschied zwischen den Sehweiten für die einzelnen Augen, desto mehr ent-

ɒricht also diese Kugel der gestellten Bedingung. Für einen sehr klei-
en, um den Punkt a belegenen Theil erfüllt auch eine Kugel mit kur-
em Radius diese Bedingungen.

6. **Richtung der Sehlinie.** Man findet leicht, dass wenn ka' die
albirungslinie des Winkels $da'e$ ist, der Winkel aka' gleich dem Win-
ln bdb' oder cec' oder gleich den Winkeln ada' oder aca' ist. Um
eselbe Winkelgrösse, um welche die Gesichtslinie des Objektes a' von
r des Objektes a für jedes Auge oder um welche die korrespondirenden
etzhautstellen des Objektes a' von dem Pole beider Augen abweichen,
n dieselbe Winkelgrösse weicht also auch die Halbirungslinie des Win-
ls $da'e$ oder die Richtung des Objektes a' gegen den Pol k des
opfes von der durch diesen Pol gehenden Axe des Kopfes ab.
ach der Abweichung der korrespondirenden Netzhautbilder schätzen wir
so richtig die Abweichung des Nebenobjektes von der Axe unseres
örpers, sowohl hinsichtlich der Grösse, als auch der Seite der Ab-
eichung.

Der Grund dieser Erkenntniss der Richtung der mittleren Sehlinie
gen die Axe unseres Körpers liegt jedoch, wie wir in §. 18 sehen
rden, nicht unmittelbar in dieser Abweichung des Netzhautbildes von
m Pole des Auges, sondern in dem Muskelgefühle, welches mit der
ellung des Auges verbunden ist. Die Abweichung des Netzhaut-
des vom Augenpole giebt uns vielmehr nur Zeugniss über die Abwei-
ung des Objektes von der Axe des Auges.

7. **Bedingung für die Deckung zweier Gesichtsvorstellungen.**
enn das Nebenobjekt a' nicht in der Horopterfläche liegt, sehen wir
sselbe stets doppelt, indem alsdann zwei nicht korrespondirende
tzhautstellen in Anspruch genommen werden, die beiden Lichtbilder
o auch keine Übereinstimmung in Beziehung auf die Abweichung von
r Axe unseres Körpers, auch nicht in Beziehung auf die Axen
r beiden Augen hervorbringen können. Das Doppelsehen in diesem
lle ist daher eine ganz natürliche Erscheinung, da das Einfachsehen
Vereinigung zweier Widersprüche erfordern würde. Wenn also
s Einfachsehen für ein Objekt, welches seine Bilder auf die beiden
genpole b und c wirft, physiologisch begründet ist; so scheint das
nfachsehen eines Objektes, dessen Bilder auf Netzhautstellen von glei-
er Abweichung oder auf korrespondirende Netzhautstellen fallen,
ner weiteren Begründung zu bedürfen: denn die Annahme liegt nahe,
ss das letztere Einfachsehen alsdann aus den nämlichen allgemeinen
sachen entspringe, welche uns bei dem Gebrauche irgend eines Sin-
swerkzeuges die Beziehungen zwischen zwei örtlich verschiedenen Af-
tionen dieses Organs kennen lehren. Dieselben Ursachen, welche uns
ugniss geben, dass ein Gegenstand, welcher uns an irgend einer Stelle
seres Körpers drückt, gegen die Hauptaxen unseres Körpers weiter
h rechts oder links, nach oben oder unten, nach vorn oder hinten
gt, als ein anderer Gegenstand, welcher uns ebenfalls drückt, eben die-
ben Ursachen könnten es sein, welche uns lehren, dass ein zweites op-
ches Objekt, welches die Netzhaut unserer Augen an anderen Stellen

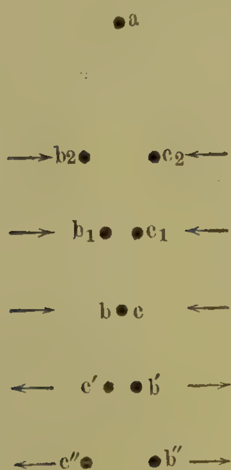
affizirt, als ein erstes Objekt, weiter nach rechts oder links, nach ob oder unten, nach vorn oder hinten liegt, und insofern das erste Obje vermöge seiner besonderen Affektion der beiden Augen den Eindru eines einfachen Gegenstandes machte, müsste auch das zweite Obje einen gleichen Eindruck machen, wenn das Gefühl der Abweichung beiden Augen dasselbe ist, und dasselbe müsste den Eindruck eines ei fachen Gegenstandes verfehlen, wenn sich in jedem Auge das Gefühl ein anderen Abweichung bildet.

Alles Dieses wäre ganz richtig, wenn es sich bei dem Einfac sehen lediglich um das örtliche Zusammenfallen zweier gleich Gesichtsvorstellungen oder um die Gleichheit der räumlichen Verhäl nisse zweier optischen Erscheinungen handelte. Allein es kommen hi auch alle übrigen optischen Eigenschaften des Objektes, wie Lich stärke und Farbe in Betracht: es handelt sich nicht um die Verbi dung von zwei Vorstellungen, sondern um die Erzeugung nu einer einzigen.

Wir verschieben die näheren Untersuchungen über die inneren Vo gänge beim Einfachsehen mit zwei Augen auf §. 13 und bemerk hier nur noch, dass zum blossen Zusammenfallen oder zur Deckun zweier Gesichtsvorstellungen eine besondere innere Organisation d Augenpaares gar nicht erforderlich wäre: dieselbe würde sich bei völlig Isolirung und Selbstständigkeit jedes Auges von selbst ergeb und in Folge der Symmetrie des Sehapparates auch die Deckung d Erscheinungen nach sich ziehen, welche durch den Reiz homologe Nervenpunkte erzeugt werden.

Richten wir in der Absicht, den Punkt a (Fig. 86) zu sehen, d Augen auf einen zwischen a und unserer Stir liegenden Punkt; so sehen wir jenen Punkt a m jedem Auge besonders, also doppelt (b_2, c_2). Lasse wir nun den Konvergenzpunkt der Augenaxen we ter vorrücken; so nähern sich die beiden Bild (b_1, c_1). Endlich, wenn der Konvergenzpunkt in fällt, fallen die Bilder zusammen (b, c). Rüc der Konvergenzpunkt der Augen über a hinau so trennen sich die Bilder wieder (b', c') und m zunehmender Hinausrückung immer mehr (b'', c' Bei dieser Bewegung rückt also das Bild b for während nach links und das Bild c fortwähre nach rechts. Die ganze Erscheinung ist offe bar die: wohin man auch die Augen richte, ma sieht den Punkt a stets mit jedem Auge für sic stets doppelt, jedes Auge funktionirt selbststä dig und erzeugt ein eigenes Bild von dem O jekte; bei einer gewissen Richtung der Augen fallen diese beiden Bild zusammen.

Fig. 86.



Dass es für jeden symmetrisch gebauten Organismus notl wendig eine gewisse Augenstellung geben muss, bei welcher ein der Axe des Kopfes liegender Punkt a einfach erscheint, ist leic zu begreifen. Denn man vergegenwärtige sich die durch den Punkt

ehende Axe des Kopfes und denke sich die Augen auf irgend einen 'unkt A jener Axe gerichtet. Das Bild b, c von a wird ein doppeltes ein und eine symmetrische Lage gegen jene Axe nach rechts und links aben. Wir lassen es nun ganz dahin gestellt sein, welchem Auge das ild b und welchem Auge das Bild c angehört; so viel ist nach dem Zu- ımmenhange, in welchem die Veränderungen der beanspruchten Netz- ıutstellen zu den Veränderungen der geistigen Vorstellungen in Be- .ehung auf die Hauptaxe nothwendig stehen müssen, gewiss, dass je- achdem man den Konvergenzpunkt A der Augen nach vorn oder ach hinten rückt, die beiden Bilder b, c sich nach entgegenge- etzten Seiten (rechts und links) in Beziehung zu der Hauptaxe be- egen werden. Hiernach werden sich also diese Bilder bei der einen ler anderen Verrückung des Konvergenzpunktes A einander nähern, ıd bei genügsamer Verrückung jenes Punktes werden sie zusammen- llen.

Es muss also für jeden symmetrischen Organismus einen Punkt A n der Art geben, dass wenn die Augenaxen auf denselben gerichtet erden, der Punkt a einfach erscheint. Wie dieser Punkt A gegen den ınkt a liegt, hängt lediglich von dem Baue des einzelnen Auges, insbe- ndere von der geometrischen Vertheilung der Enden der elemen- ren Nervenfasern des Sehnerven über die Netzhaut ab. Für normale rganismen müsste A mit a zusammenfallen, d. h. man müsste einen ınkt dann einfach sehen, wenn man die Augenaxen auf ihn richtete. abnormen Fällen ist Diess jedoch keine nothwendige Bedingung für s Einfachsehen: es kann schielende Augen geben, welche den ınkt a einfach sehen, wenn ihre Axen auf einen näher oder tfernter liegenden Punkt A gerichtet sind.

Theils um den vorliegenden Gegenstand, nämlich die Ursachen des ıfach- und Doppelsehens, weiter zu verfolgen, theils seines selbststän- gen Interesses wegen, widmen wir zunächst der Abnormität des Schie- ıs einige Worte.

§. 11.

Schielen.

1. Bedingungen für die normale Stellung der Augenaxen. m normalen und vollkommenen Sehen mit beiden Augen kommen in ziehung auf die Stellung der Augenaxen fünf Funktionen in Betracht. stens muss jedes Auge seine geometrische Axe in die Visirlinie ren oder dafür sorgen, dass die Spitze des inneren Strahlenbündels den geometrischen Pol fällt, damit alle brechenden Medien von n Strahlenbündel normal und symmetrisch durchdrungen werden, was vollkommenste Konzentration dieses Bündels erzeugt. Zweitens muss es Auge seine optische Axe auf den fixirten Punkt richten oder es ss die Spitze des inneren Strahlenkegels auf den optischen Pol fal- , damit die wirksamsten Strahlen die brechenden Medien ohne Ablen- ıg durchdringen, was in vielfacher Hinsicht zur Erzeugung eines voll-

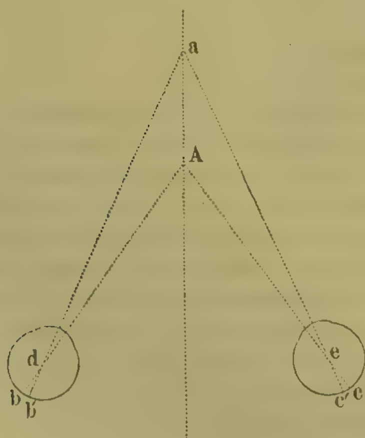
kommenen, scharfen und dem Gesichtsfelde ähnlichen Netzhautbildes erforderlich ist. Drittens muss die Spitze des Strahlenkegels auf den Pol des deutlichen Sehens fallen, damit der Gesichtseindruck die grösste Deutlichkeit annimmt. Viertens muss diese Spitze in den physiologischen Pol oder in den Mittelpunkt des Sehfeldes fallen, damit die Gesichtseindrücke beider Augen sich zu einem einfachen verschmelzen; gleichzeitig muss in Beziehung auf ein ausgedehntes Objekt das Netzhautbild einer vertikalen Linie auf den physiologischen Meridian fallen. Fünftens muss sich das Auge auf die Entfernung des Objektes akkommodiren, also die Spitze des Strahlenbündels behuf grösster Deutlichkeit auf der Netzhaut konzentriren.

In einem normalen Auge fallen alle vier zuerst genannten Punkte in dem geometrischen Pole zusammen, machen es also möglich, dass die Einstellung der geometrischen Axe auf das Objekt die vier ersten Bedingungen erfüllt. Ausserdem steht die Akkommodationsthätigkeit mit der Thätigkeit der Augenmuskeln in einem normalen Verhältnisse, d. h. sie beeinflusst nicht durch Induktion die motorischen Nerven der Augenmuskeln dergestalt, dass dieselben das Auge zur Einnahme einer falschen Stellung zwingen. Auch haben die Augenmuskeln die richtige Länge und Stellung, sodass sie das Auge nicht zu einer unrichtigen Stellung nöthigen.

Unter solchen Umständen sehen die Augen nicht bloss scharf, deutlich, einfach und mit grösstmöglicher Helligkeit, sondern sie gewähren auch vermöge ihrer richtigen, auf das fixirte Objekt gerichteten Stellung dem äusseren Beschauer den ästhetischen Anblick eines regelrechten Organismus.

2. Schielen. Wenn irgend eine jener fünf Bedingungen an einem oder an beiden Augen nicht erfüllt ist, ist das Sehen unvollkommen; ausserdem ist die Stellung der Augenaxe insofern eine abnorme, als die geometrischen Axen bd, ce (Fig. 87) nicht auf das Objekt a, sondern auf einen anderen Punkt A gerichtet sind oder doch jene Richtungen nicht stetig innehalten, sondern indem sich bald diese, bald jene Bedingungen gleichzeitig zu realisiren suchen, unsicher hinundher schwanken.

Fig. 87.



Dieser fehlerhafte Zustand, soweit dabei die Richtung der geometrischen Axen der Augen gegen das Objekt in Frage kömmt, ist das Schielen (*strabismus*). Im Allgemeinen und namentlich bei den geringeren Graden des Schielens sind die Augen für alle Lichtreize empfänglich, ändern also mit der Entfernung des Objektes ihren Akkommodationszustand (wennauch nicht ganz richtig) und mit dem Orte des Objektes ihre Stellung (wennauch nicht ganz entsprechend). Ein solcher Zustand bildet

las bewegliche Schielen, den eigentlichen *strabismus*. Mit den iöheren Graden der Abnormität verliert sich auch die Empfindlichkeit les Auges und es tritt endlich ein Zustand ein, wo die Augen gar nicht ›der nur noch sehr wenig beweglich sind: dieser Zustand, welcher meitens mit Lähmung oder doch Schwächung des Sehnerven verbunden ist, eisst unbewegliches Schielen (*luscitas*).

Jenachdem die schielenden Augen sich auf einen vor oder hinter em Objekte liegenden Punkt richten, heisst das Schielen konvergent der divergent. Im ersten Falle konvergiren nämlich die Augenxen beim Anblicke eines unendlich entfernten Punktes, statt sich parallel u stellen, und im zweiten divergiren sie. Man sagt auch die Augen chielen einwärts oder auswärts. Es sind Diess zwar zwei häufig orkommende, aber doch nicht die ausschliesslich möglichen Fälle: die ugenaxen können auch in vertikaler Richtung nach oben oder nach unen und in anderer Weise abweichen und die Abweichung kann für das echte Auge eine andere sein als für das linke, wie denn überhaupt das ine Auge normal sein und das andere schielen kann.

Schliesslich muss ich hervorheben, dass die normale Stellung ines Auges nicht lediglich nach der Richtung seiner geometrischen xe beurtheilt werden kann, sondern dass hierbei auch die Stellung seier Meridiane in Betracht kömmt. Das Auge kann nämlich um seine xe verdreht sein: wir bezeichnen eine solche Drehung als Drehung ach links oder rechts, nach innen oder aussen, wenn sich der oberste unkt des vertikalen Meridians resp. in der genannten Richtung m die Axe gedreht hat.

Wir haben es hiernach für jedes Auge in Beziehung auf seine Stelung mit drei Hauptfehlern zu thun: Abweichung in horizontaler ichtung nach innen oder aussen, Abweichung in vertikaler ichtung nach oben oder unten, Verdrehung um die Axe nach nnen oder aussen.

3. Wirkungen und Hauptveranlassungen des Schielens. Wenn wei normale Augen, bei welchen alle früher genannten Pole im geomeischen Pole liegen, freiwillig schielen, d. h. ihre geometrischen Axen icht auf das Objekt richten, ein Zustand, welchen man das physioloische Schielen im Gegensatze zu dem aus einer fehlerhaften Organisaon entspringenden unfreiwilligen oder pathologischen Schielen nennt; › erscheint das Objekt wegen der Affektion differenter Netzhautstellen oppelt, ausserdem erscheint der fixirte Punkt wegen der Abweichung ines Bildes von dem optischen Pole und dem Pole des deutlichen Sehens ndeutlich und lichtschwach. Eine falsche Konvergenz der Augenxen ruft induktorisch auch immer eine falsche Akkommodation heror: das Objekt erscheint also auch, indem sich Zerstreuungskreise ilden, verschwommen.

Bei dem unfreiwilligen Schielen haben die Augen die Tendenz, as Objekt so gut als möglich zu sehen, werden hieran aber durch die ehlerhaftigkeit des Organismus verhindert. Von der Art der Fehlerhafgkeit hängt also die Erscheinung ab. Jenachdem der eine oder der ndere oder mehrere der fraglichen Pole von dem geometrischen Pole und

unter sich abweichen, und jenachdem die Fehlerhaftigkeit das Verhältniss der Augenmuskeln zum Akkommodationsapparate oder zum Augapfel betrifft, sehen die schielenden Augen das Objekt bald doppelt, bald ungenau, bald in falscher Richtung oder Entfernung.

Hinsichtlich der Täuschung über die Richtung, in welcher schielende Augen das Objekt erblicken, ist zu bemerken, dass wenn ein Auge nach irgend einer Seite hin abweicht, wenn also die Pupille nach rechts, nach links, nach oben oder nach unten verschoben erscheint, das Objekt nach entgegengesetzter Seite verrückt erscheint. Hierbei bleiben alle Objekte in Beziehung zu der Vertikalen und Horizontalen in ihrer richtigen Stellung. Wenn dagegen ein Auge um seine Axe verdreht ist; so erscheinen auch die Objekte um diese verlängerte Axe gedreht; die scheinbare Verdrehung der Objekte ist aber nach derselben Seite herum gerichtet, wie die wirkliche Verdrehung des Auges. Denn denken wir uns als Objekt eine vertikale Linie, welche ein vertikales Netzhautbild erzeugt. Ist das Auge normal; so fällt dieses Bild auf den vertikalen Meridian der Netzhaut und erscheint vertikal: verdrehen wir jetzt das Auge um seine Axe; so verbleibt der Mittelpunkt des Netzhautbildes im Pole; der entsprechende Punkt des Objektes behält also seine scheinbare Lage. Erfolgt die Verdrehung des Auges und seines Meridians von aussen nach innen; so verrückt sich der höchste Punkt dieses Meridians nach innen von dem höchsten Punkte des Netzhautbildes: der höchste Punkt des Objektes scheint also ebenfalls nach innen abzuweichen, d. h. das Objekt scheint sich in derselben Richtung wie das Auge zu verdrehen.

Vor den schielenden Augen selbst wechselt die Erscheinung zuweilen, indem sich gleichzeitig die Axenstellung ändert. Denn bald prävalirt die Tendenz, die Doppelbilder zu verschmelzen, also die beiden Netzhautbilder auf identische Netzhautstellen zu führen, bald die Tendenz möglichst scharf zu sehen, also die Netzhautbilder des fixirten Punktes auf die optischen Pole oder auch auf die Pole des deutlichen Sehens zu führen, bald die Tendenz, das Objekt scharf oder ohne Zerstreuungskreise zu sehen, also die Akkommodation richtig zu vollführen.

Erfahrungsmässig findet auch bei dem Sehen mit zwei ungleich thätigen Augen ein lebhafter Wettstreit der Sehfelder statt (§. 13), in Folge dessen die stärkere Thätigkeit die schwächere immer mehr überwiegt und schliesslich die fast allein herrschende wird, sodass alsdann nur noch das eine Auge sieht, während der Eindruck auf das andere Auge unmerkbar wird. Wenn dieser Zustand eintritt, verliert natürlich die Affektion differenter Netzhautstellen oder die Verdopplung des Bildes ihre Bedeutung, weil ja nur ein Bild gesehen wird. In der That bemerken die Schielenden häufig die Verdopplung der Objekte nicht mehr. Es ist sogar schwer, manchen mit normalen Augen versehenen Menschen auf die beim freiwilligen Schielen entstehenden Doppelbilder aufmerksam zu machen; derselbe bemerkt häufig gar nicht die doppelten Ränder des Objektes, sondern sieht nur denjenigen Theil des Objektes, in welchem beide Bilder sich decken, also ein völlig undurchsichtiges Objekt zeigen.

Wenn wir also die hauptsächlichen Wirkungen der verschiedenen Abnormitäten mit Rücksicht auf die Mehrzahl der Effekte in der Wirk-

hkeit hervorheben wollen; so tritt die Wirkung der Abweichung des ıysiologischen Poles, d. h. die Wirkung der fehlerhaften *Ver-ickung* oder *Verdrehung der Sehfelder* mehr oder weniger in n Hintergrund. Diess bezieht sich jedoch nur auf die *Wirkung* des hielens, nicht auf die *Veranlassung* zum Schielen: es kann also die rrückung der Sehfelder sehr wohl die Veranlassung zum Schielen sein, ne dass doch die Wirkung davon, nämlich das *Doppelsehen* sehr ffallend empfunden wird.

Was alsdann die Abweichung des Poles des deutlichen Sehens be-ifft; so liegt derselbe immer im gelben Flecke. Wennnun auch die ein-nen Punkte dieses Fleckes keine absolut gleiche Deutlichkeit darbieten rden; so wird doch auch ihre Verschiedenheit meistens nicht erheblich ı: zum *deutlichen* Sehen genügt also, dass die übrigen Pole über-ıpt in das Bereich des gelben Fleckes fallen, was wegen der Ausdeh-ıg dieses Fleckes wohl meistens der Fall sein wird.

Legen wir nun auf die Verschiedenheit der Empfindlichbkeit der zhaut innerhalb des gelben Fleckes und in dessen Nachbarschaft kein sses Gewicht; so bleibt nur noch der *optische Pol* zu berücksichti-.. Wenn dieser Pol mit dem geometrischen Pole nicht zusammenfällt, ın also die optische Axe die geometrische durchkreuzt; so wird jeder die Mitte der Pupille treffende Strahl, also die Axe jedes von einem seren Punkte kommenden Strahlenbündels sich im Auge *brechen* l nach einem Punkte konvergiren, welcher von dem Durchschnitts-kte der Axe des Strahlenbündels ebenso weit absteht, wie der *opti-ıe Pol der Axenstrahlen vom geometrischen Pole* absteht.

Das Auge wird nun entweder danach trachten, das Lichtbild des ektes auf den *Pol des deutlichen Sehens*, oder es wird sich be-ben, dieses Bild auf den *physiologischen Pol* zu führen. Ich bin Ansicht, dass dem Auge prinzipiell das letztere Bestreben, nicht das eere Bestreben innewohnt, dass die *Fixirung eines Objektes* also ın besteht, das Netzhautbild auf die *Zentralstelle des Sehfeldes* r auf die *Mittelfaser des Sehnerven* zu führen.

Demgemäss würde die Hauptveranlassung zum Schielen, soweit die-e von den brechenden Medien und den Sehnerven herrührt, in einer eichung des *Poles* f' *der Axenstrahlen* vom *physiologischen* e i (Fig. 88) beruhen. Diese Abweichung aber kann entweder in r abnormen Lage des physiologischen Poles i gegen den geometri-n Pol c, d. h. in einer *Verrückung des Sehfeldes* oder sie kann iner abnormen Lage des Poles f' der Axenstrahlen gegen den geome-

Fig. 88.

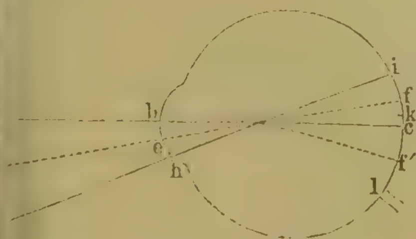
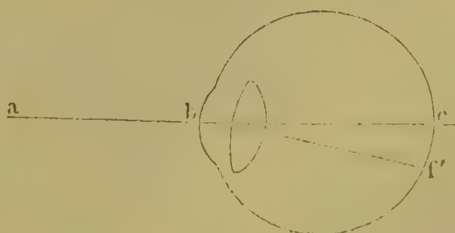


Fig. 89.



trischen Pol c oder in diesen beiden Abweichungen zugleich liegen. Di Abweichung des Poles f' der Axenstrahlen ab kann als eine Unsym metrie der brechenden Medien aufgefasst werden, sei es, dass di Linse etwa nach Fig. 89 (a. v. S.) verschoben oder dass die Form oder di Dichtigkeit der Linse oder des Glaskörpers eine unsymmetrische ist.

Es wäre denkbar, dass der Pol f' der Axenstrahlen und der physio logische Pol i eine abnorme Lage hätten, aber doch ineinande fielen. Alsdann würde keine Veranlassung zum Schielen vorliegen: nu die Abweichung dieser beiden Pole voneinander bedingt das Schielen soweit die brechenden Medien und die Sehnerven, überhaupt die sen suellen Organe dasselbe hervorrufen.

Ausser diesen in den sensuellen Organen liegenden Fehlerhaftig keiten kömmt aber noch das schon mehrfach erwähnte Missverhältnis zwischen dem Apparate der Augenmuskeln zum Akkommodations apparate oder zum Augapfel in Betracht. Diese Abnormität schein ebenfalls eine häufige Ursache des Schielens zu sein.

Es ist noch zu erwähnen, dass jede Abnormität, welche das ein Auge zu einer anderen Akkommodationsanstrengung nöthigt al das andere, wie Kurz- und Fernsichtigkeit auf einem Auge, die Veran lassung zum Schielen giebt, indem bei der stärkeren Akkommodation de einen Auges auch induktorisch eine stärkere Ablenkung der Augen axe hervorgerufen wird. Umgekehrt erzeugt aber auch jeder Fehle welcher die Augen zur Einnahme eines falschen Konvergenzwinkel zwingt, eine unrichtige Akkommodation auf die Entfernung, d. h das Schielen bewirkt immer einen gewissen Grad von Kurz oder Fernsichtigkeit und es ist erklärlich, dass das Sehen mit schie lenden Augen wegen der abnormen Beeinflussung der Sehthätigkeite stärker angreift, als das Sehen mit normalen Augen, dass also ein schie lendes Auge eher ermüdet und meistens lichtscheu ist.

Endlich dürfte der Allgemeinheit wegen zu bemerken sein, dass di Abnormität eines Sehfeldes möglicherweise auch darin bestehen könnt dass die Nervenpunkte darin nicht gleichmässig vertheilt wäre oder nicht die den Richtungen der Strahlenbündel entsprechenden Em pfindungen erzeugten. Dieser Fehler könnte trotz der richtigen Lag der Mittelpunkte und Meridiane der korrespondirenden Netzhau stellen zu partiellen Verdopplungen der Objekte und demgemäss zu Schielen Veranlassung geben. Derselbe würde sich übrigens dadurch ve rathen, dass die mit jenem Auge gesehenen Objekte verzerrte For men zeigten.

4. Klassifikation der Fehler und Bestimmung der Fehlerha tigkeit in jedem speziellen Falle. Die Ursachen des Schielens würd ich mit Rücksicht auf die ophthalmologische Behandlung des fehlerhaft Auges in drei Hauptklassen stellen. Der ersten Klasse gehören d Fälle an, wo zwischen der Akkommodationsthätigkeit behuf An passung an die Entfernung oder auch zwischen der die Konvergen der Augenaxen veranlassenden Nerventhätigkeit und zwischen de Funktionirung der Augenmuskeln ein Missverhältniss obwalte In die zweite Klasse kommen die Fälle, wo der Muskelapparat al

orm gebildet oder angeheftet ist. Die dritte Klasse umfasst die 'älle, wo die Abnormität in den sensuellen Organen oder in den rechenden Medien, überhaupt in den vom Augapfel eingechlossenen Organen liegt.

Jede dieser drei Klassen muss rationell nach einem anderen Prinzipe ehandelt werden, welches wir in No. 15 besprechen werden. Es kömmt aher bei der Untersuchung schielender Augen zunächst darauf an, die lasse zu bestimmen, welcher die Fehlerhaftigkeit angehört.

Wenn ein Fall der ersten Klasse vorliegt, wenn also durch die kkommodation auf die Entfernung des Objektes oder auch urch die hiermit zusammenhängende Konvergenz der Augenaxen ei der Fixirung des Objektes der Muskelapparat induktorisch zu ark, zu schwach oder überhaupt abnorm in Thätigkeit gesetzt und daurch Schielen hervorgebracht wird; so ist zu unterscheiden, ob die Akommodation auf die Entfernung oder ob die Konvergenz er Augenaxen der primitive Grund der abnormen Reizung des uskelapparates ist. Ist die Konvergenz der Augenaxen der prititive Grund; so muss dieses Schielen offenbar aufhören oder doch sich hr bedeutend vermindern, sobald ein Auge verdeckt und nur eines ım Sehen gebraucht wird: denn alsdann liegt kein Reiz zur Konrgenz der Augenaxen auf den fixirten Punkt mehr vor und die Mitwegung des verdeckten Auges ist nur eine durch die Thätigkeit des nenden Auges bedingte Induktionsbewegung. Namentlich muss das ıge seine normale Stellung behalten, wenn der fixirte Punkt in grosser ntfernung in der Axe der Stirn liegt, weil alsdann gar keine onvergenz stattfindet, die Augenmuskeln auch überhaupt nicht in Anruch genommen werden.

Einen in der Axe der Stirn liegenden sehr entfernten Punkt muss Augenpaar, von welchem ein oder beide Augen den in Rede stehenden hler haben, sogar beim gleichzeitigen Gebrauche beider ugen mit normaler Parallelstellung der Augenaxen ansehen können.

Wäre dagegen die Akkommodation auf die Entfernung der ımitive Grund des Schielens; so würde dasselbe allerdings bei dem alnigen Gebrauche des fehlerhaften Auges fortbestehen; allein nur für jekte von endlichen Entfernungen. Für sehr entfernte Objekte gegen würde das Auge nicht schielen und für nahe Objekte würde Grad des Schielens veränderlich sein, derselbe würde mit der ınäherung wachsen.

Einen sehr entfernten Punkt würden sogar beide Augen gleichzei- ohne Schielen betrachten können und der Grad des Schielens müsste der Annäherung des Objektes auch für beide Augen sich steigern.

In ganz abnormen Fällen könnte sich sogar ein anderes Gesetz der änderlichkeit des Schielens mit der Entfernung zeigen: das Charakteische würde aber immer die Abhängigkeit des Schielens von r Entfernung sein.

Wenn ein Fall der zweiten Klasse, also eine abnorme Bildung er Anheftung der Augenmuskeln vorliegt; so wird das eine ge, wenn das andere verdeckt ist, einen in bestimmter schrägen chtung liegenden Punkt mit normaler Axenstellung fixiren können,

beim Anblicke jedes anderen Punktes aber schielen, und zwar wird das Schielen umso bedeutender werden, je mehr die Visirlinie sich von dieser bestimmten Richtung entfernt. Ein solches Auge wird auch im Dunkeln oder bei völliger Unthätigkeit, gleichviel ob das andere Auge frei oder verdeckt ist, schielen, weil es von dem abnormen Muskelapparate schief gezogen wird.

Wenn ein Fall der ersten oder der zweiten Klasse vorliegt, kann das einzelne Auge, sobald es schielt, niemals scharf sehen, auch wird beim Gebrauche beider Augen, sobald sie schielen, stets Doppelsehen stattfinden.

Nach welcher Seite die Pupille abweicht oder nach welcher Seite das Auge etwa verdreht ist, wird sich leicht beobachten lassen. Theils dient hierzu die Vergleichung der Stellung der schielenden Augen mit dem Orte des Objektes, theils kann hierzu die subjektive Erscheinung in den Augen des Schielenden mit benutzt werden, indem diesem die Objekte in entgegengesetzter Richtung verschoben und in derselben Rotationsrichtung gedreht erscheinen.

Es bleibt jetzt noch die dritte Klasse übrig. Ein hierher gehöriger Fall liegt vor, wenn ein Auge bei der Verdeckung des anderen keinen Punkt fixiren kann, ohne zu schielen. Dieses Schielen findet also für jede Richtung und für jede Entfernung statt, und ist für alle Objekte, welche in derselben Entfernung, aber in verschiedenen Richtungen liegen, gleich stark. Im Zustande der Unthätigkeit, also im Dunkeln wird sich ein Augenpaar, von welchem ein Auge oder beide diesen Fehler haben, ohne zu schielen, parallel stellen.

Wenn ermittelt ist, dass der Fall der ersten Klasse angehört, kömmt es noch darauf an, ihn zu spezialisiren, und diese Prüfung wird wesentlich dazu beitragen, die Überzeugung von der Beschaffenheit des Fehlers zu stärken. Es ist also die relative Lage der verschiedenen Pole, des geometrischen, des optischen, des physiologischen und des Poles des deutlichen Sehens festzustellen. Es können hierzu verschiedene Wege eingeschlagen werden, unter anderen der folgende.

Man präparirt sich eine Fläche, welche entweder nach (1) in Fig. 90 fein punktirt oder nach (2) mit feinen gekreuzten Linien oder nach (3) mit konzentrischen Kreisen und Radien oder in anderer Weise, worüber der praktische Gebrauch am besten entscheiden kann, fein guillochirt ist. (Streng genommen müsste diese Fläche nicht eben, sondern eine Horopterfläche sein).

Fig. 90.







Auf den Mittelpunkt a dieser Fläche (Fig. 91) lässt man ein Auge akkommodiren (indem das andere Auge durch Verdeckung ausser Gebrauch gehalten wird) oder man lässt mit jenem Auge den Punkt a fixiren und konstatirt durch ein geeignetes Messungsver-

Fig. 91.



fahren die Richtung $b' b$, in welche sich hierbei die geometrische Axe des Auges stellt, oder den Punkt b, welcher dem geometrischen Pole b' des Auges entspricht. Es kömmt zunächst darauf an, festzustellen, ob das Auge, indem es den Punkt a fixirt, das Netzhautbild a' desselben auf den optischen oder den physiologischen Pol oder auf den Pol des deutlichen Sehens fallen lässt.

Erscheint der Punkt a von allen anderen am hellsten oder intensivsten; so liegt sein Bild a' auf dem optischen Pole. Erscheint aber nicht a, sondern ein anderer Punkt c am hellsten; so entspricht c dem optischen Pole c', und das Auge lehrt, dass es bei der Fixirung einen anderen Punkt, als den optischen Pol in das Netzhautbild führt.

Erscheint der Punkt a mit seiner Umgebung von allen anderen Stellen am schärfsten oder deutlichsten (was von der Erscheinung in grösster Helligkeit zu unterscheiden ist, indem eine recht helle Figur doch undeutlich sein kann), so liegt sein Bild auf dem Pole des deutlichen Sehens. Ist jedoch eine andere Stelle deutlicher; so entwirft deren Mittelpunkt d sein Bild auf dem Pole d' des deutlichen Sehens und das Auge zeigt kein Bestreben, beim Fixiren eines Objektes dessen Bild in diesen Pol zu führen.

Erscheint der Punkt a weder am hellsten, noch am schärfsten, liegt sein Bild also weder im optischen Pole, noch im Pole des deutlichen Sehens; so kann dasselbe nur im physiologischen Pole liegen und das Auge beweis't, dass es bei der Fixirung eines Punktes dessen Bild auf den physiologischen Pol führt.

In allen Fällen ist der physiologische Pol noch näher zu bestimmen. Zuvor untersucht man in vorstehender Weise das zweite Auge und legt die Hauptpunkte darin fest. Hierdurch zeigt sich, ob beide Augen gleich oder ungleich sind.

Zur Ermittlung der physiologischen Pole und Meridiane beider Augen ist die präparirte Fläche weniger gut geeignet, besonders bei unsymmetrischen Augen. Wollte man dieselbe gleichwohl hierzu in Anwendung bringen, was jedoch nur bei symmetrischen Augen thunlich sein würde; so müsste man, indem man nach Vorstehendem beide Augen auf den Mittelpunkt a akkommodirt, den Punkt ermitteln, welcher einfach erscheint. Dieser Punkt wird bei ganz symmetrischen Augen in der durch b gehenden Vertikalen liegen. Aus der Lage dieses Punktes finden sich dann die physiologischen Pole oder die Mittelpunkte der korrespondirenden Netzhautstellen.

Wenn die Augen nicht in allen Stücken symmetrisch sind, wird das eine Auge schwächer oder stärker als das andere auf die Entfernung $a'a$ akkommodirt sein und Diess wird zur Folge haben, dass der fixirte Punkt wie überhaupt jeder Punkt der Fläche dem einen Auge grösser als dem anderen erscheint. Dieser Umstand erschwert das Experiment mit beiden Augen sehr, und man geht alsdann wohl sicherer, wenn man beiden Augen keine Fläche, sondern nur einen isolirten Punkt darbietet, an welchem dieselben ungehindert vorbeiblicken können, und dieselben veranlasst, sich so einzurichten, dass dieser Punkt einfach erscheint. Aus der Stellung, welche die Augen alsdann einnehmen, lassen sich die physiologischen Pole ebenfalls und genauer bestimmen.

Endlich wird man aus der scheinbaren Stellung der Linien (2) und (3) der Fig. 90 ermitteln können, ob die physiologischen Meridiane die richtige Stellung haben oder ob die Sehfelder verdreht sind.

Schliesslich leuchtet ein, dass auch Komplikationen der Fehler aller drei Klassen in mannichfaltiger Weise vorkommen können und dass Diess die Untersuchung sehr erschweren kann.

5. Resultate, welche sich aus den Eigenschaften schielender Augen ergeben. Eine Untersuchung der vorstehenden Art an vielen schielenden Augen wird lehren, ob der optische Pol oder der Pol des deutlichen Sehens mit dem physiologischen Pole etwa immer identisch ist, ferner ob der geometrische Pol immer die Eigenschaft des einen oder des anderen jener Pole hat, überhaupt ob irgend zwei jener Pole stets identisch sind oder ob jeder einzelne selbstständig bestehen kann, wie es wohl wahrscheinlich ist.

Ausserdem wird hierdurch dargethan werden können, ob das Auge beim Fixiren eines Objektes stets das Bestreben hat, das Lichtbild des Objektes auf den physiologischen Pol zu führen, was ich annehme, oder ob auch ein anderer Pol diese Anziehung äussern kann.

Auf die Behandlung der verschiedenen Fälle des Schielens behuf Verbesserung des optischen Effektes kommen wir in §. 15 zurück.

§. 12.

Erläuternde Experimente.

Zur näheren Erläuterung der in §. 10 und 11 vorgetragenen Ansichten über das Einfach- und Doppelsehen dienen folgende Versuche.

Man kann leicht kleine oder schmale Objekte bilden, welche aus der Nähe der normalen Sehweite dem linken Auge ein ganz anderes Bild darbieten, als dem rechten. Diese Objekte sind gut zu Versuchen über die Vereinigung zweier Netzhautbilder zu einem Gesammtbilde, obwohl hierbei gar nicht einmal korrespondirende Netzhautstellen in gleicher Weise in Anspruch genommen werden.

1. Anblick zweier verschiedenen schmalen Körper. Knickt man z. B. einen schmalen Papierstreifen in Form eines Fidibus a (Fig. 92) unter einem recht spitzen Winkel ein und schneidet aus den freien Seiten ein kleines Dreieck heraus, sodass die linke Seite die Gestalt b' und die rechte die Gestalt c' hat und hält man alsdann diesen Streifen in vertikaler Stellung, die Kante dem Kopfe zugewandt, so nahe vor das Gesicht, dass man bei zugedrücktem rechten Auge nur die Seite b' und bei zugedrücktem linken Auge nur die Seite c' sieht; so empfängt man, wenn man die Augen vor dem Streifen konvergiren lässt, das Doppelbild b', c', wenn man die Augen hinter dem Streifen konvergiren lässt, das Doppelbild b'', c'', wenn man aber die Augen auf den Streifen selbst richtet,

das Bild bc, welches man nach Belieben ein einfaches oder ein doppeltes nennen kann, in welchem aber die Bilder der einzelnen Augen ihre volle Selbstständigkeit bewahren.

Fig. 92.

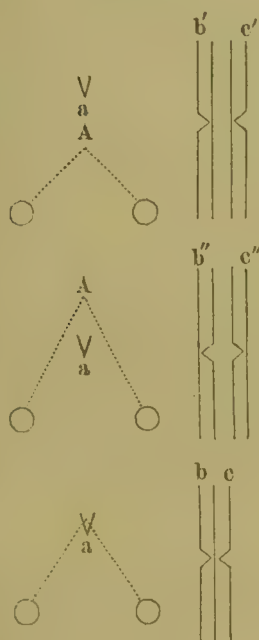
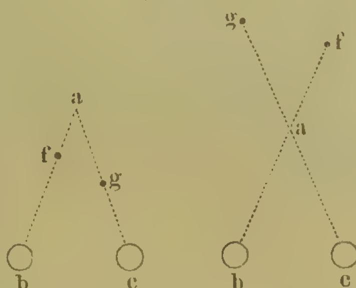


Fig. 93.

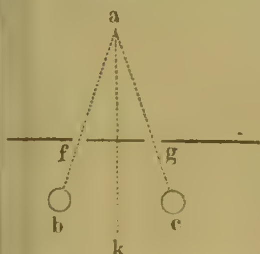


2. Anblick zweier gleichen Nadeln. Wenn man bei unverwandtem Blicke auf einen Punkt a (Fig. 93) in die Sehlinie ba des einen Auges eine feine Nadel f und ebenso in die Sehlinie des anderen Auges die Nadel g steckt; so fallen die Bilder dieser verschiedenen Nadeln (wennauch etwas zerstreut) aufeinander und bilden ein einziges Gesammtbild. (Das zweite Bild, welches jede Nadel in dem anderen Auge erzeugt, bleibt hierbei ausser Betracht: mit Hinzuh nung dieser Bilder hat man zwei einseitige und ein doppelseitiges Bild, ·ährend man, wenn die Nadeln nicht in den Augenaxen stehen, vier ·nseitige Bilder haben würde).

Statt der beiden Nadeln f, g kann man auch zwei verschiedene ·hmale Gegenstände nehmen, um ein Kompositionsbild zu erhalten.

3. Blick durch zwei feine Löcher. Interessant und wichtig für ·s Prinzip des Sehens überhaupt wird aber dieser Versuch, wenn man ·e beiden Nadeln durch zwei feine Löcher in einem Kartenatte ersetzt, deren Abstand fg (Fig. 94) etwas kleiner ist, als der ·stand bc der beiden Augen, sodass man die Augen durch jene Löcher auf einen jenseit des Blattes liegenden Punkt a richten kann.

Fig. 94.



Wenn man das Blatt nahe vor das Gesicht hält; so kann man es leicht dahin bringen, dass die Bilder der beiden Löcher, welche als vergrösserte helle Kreisflächen erscheinen, zusammenfallen, sodass man nur eine einzige Kreisfläche sieht. Die beiden verschiedenen Objekte affiziren jetzt korrespondirende Netzhautstellen und erscheinen wie ein einfaches Objekt. Bei dien Versuche ist aber noch Mehreres interessant.

Wenn man das Blatt nicht ganz genau in der von dem Punkte a t abhängigen Entfernung vom Gesichte hält; so weichen die beiden

Bilder der Löcher *f*, *g* mehr oder weniger voneinander ab, fallen nur theilweise oder gar nicht aufeinander. Immer aber liegen sie auffallend nahe beieinander und nahe an der Mitte der Linie *fg* oder vielmehr in der Axe *ka* unseres Kopfes, welche sie beim Aufeinanderfallen sogar genau einnehmen. Jedes Bild behält auch seine Lage bei, wenn man dasselbe nur mit dem korrespondirenden Auge betrachtet, indem man das andere Auge schliesst: man empfindet alsdann aber, dass die Richtung, in welcher nun dieses Bild gesehen wird, nicht mehr genau die Axe des Kopfes ist, sondern sich der Axe des betreffenden Auges nähert.

Damit die beiden Löcher *f*, *g* (Fig. 95) ein einfaches Bild *F* erzeugen, muss die Linie *fg* genau der Verbindungslinie *bc* der beiden Augen parallel sein. Sobald man die Lage des Blattes ein wenig in der Weise ändert, dass das eine Loch *f′* etwas höher liegt als das andere, fahren ihre Bilder *F′*, *G* in vertikaler Richtung auseinander, indem jetzt Netzhautstellen in Anspruch genommen werden, welche in vertikaler Richtung nicht miteinander korrespondiren.

Fig. 95.



4. Zwei Löcher von verschiedenen Farben. Wenn man di Löcher *f*, *g* mit zwei Gläsern von verschiedener Farbe bedeckt, z. B das eine mit gelbem und das andere mit blauem Glase; so müsste wenn an irgend einer Stelle der Sehnerven von den Augen bis zum Gehirne eine Verschmelzung der Nerventhätigkeiten stattfände, in dem einfachen Bilde *F* die Mischfarbe, also Grün erscheinen. Diess ist keineswegs der Fall. Man erkennt deutlich einen Kampf zwischen den beide Augenthätigkeiten, welche von korrespondirenden Netzhautstelle ausgehen. Das einfache Bild *F* erscheint bald gelb, bald blau, bald gefleckt, indem ein Theil der Flecken gelb und der andere blau ist, und i dieser Weise herrscht ein fortwährender Wechsel, jenachdem das eine ode das andere Auge eine stärkere Thätigkeit auf der ganzen oder partielle Fläche seines Netzhautbildes entwickelt: es erscheint aber niemals ei grünes Bild.

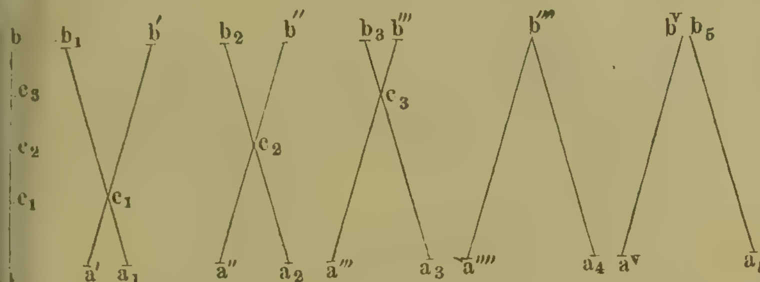
Dieselbe Erscheinung hat man, wenn man in einem Stereoskope unte das eine Glas ein gelbes und unter das andere ein blaues Papierfeld leg Auch hier vereinigen sich die beiden Farben nicht zu Grün: man sieh vielmehr vorzugsweise diejenige Farbe, welche am meisten leuchtet od welche das empfindlichere Auge trifft.

Hieraus geht unverkennbar hervor, dass eine Gemeinschaftlichkeit, eine Verschmelzung der Thätigkeiten der beiden Sehnerven a keiner Stelle ihres Verlaufes und demzufolge auch nicht in ihren Au gangspunkten am Gehirne stattfindet. Wir kommen auf diesen Gegei stand in §. 13 zurück, wo wir das Verhältniss der Thätigkeiten der be den Augen gegeneinander näher erläutern werden.

5. Blick auf einen Faden. Von ebenso grossem Interesse ist d Blick auf einen Faden.

Wenn man einen gerade gespannten Faden ab (Fig. 96) etwa in ormaler Richtung vor das Gesicht hält; so ist es **unmöglich**, denselben **einfach** zu sehen. Derselbe erscheint immer **doppelt** wie zwei in dem Konvergenzpunkte c_1 oder c_2 oder c_3 der Augen sich kreuzende Fäden.

Fig. 96.



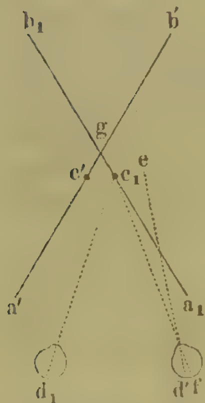
Man findet, dass es **sehr schwierig** ist, den **Kreuzungspunkt** ieser beiden Bilder zu fixiren. Sobald man diesen Versuch macht, rückt er Kreuzungspunkt weiter hinweg von c_1 nach c_2, dann nach c_3 und so rt bis zum Endpunkte b, wo die Augen in dem Bilde des Winkels $a'''' b'''' a_4$ uhe finden.

Dieser Vorgang erklärt sich folgendermaassen. Die Konvergenz der ugenaxen auf einen Punkt c_1 erfordert eine Anstrengung gewisser motoschen Nerven und Muskeln. Zur gleichmässigen Erhaltung dieser Anrengung, wie zur längeren Erhaltung eines freiwilligen Druckes gehört ne besondere und gleichmässige Willensenergie. Es entstehen daher icht **Schwankungen**: namentlich ein **Nachlass** in der Anstrengung. amentlich wird dieser **Nachlass** durch die im Hintergrunde des Fadens egenden Objekte veranlasst, welche durch die von ihnen ausgehenden rahlen die Augen unvermerkt zu einer Akkommodation auf **grössere** ntfernung nöthigen, also bewirken, dass die Augen unwillkürlich ihren onvergenzwinkel vermindern. Sobald aber eine solche Verminderung des onvergenzwinkels eintritt, rückt der Kreuzungspunkt der Bilder **weiter** rt nach c_2. Hat man nun die Absicht, den **Kreuzungspunkt** zu iren; so folgen die Augen unwillkürlich dieser Bewegung, vermindern so den Konvergenzwinkel **noch mehr**. In Folge dessen rückt der euzungspunkt wieder weiter nach c_3 und so fort bis ans Ende b, wo die wegung einen Halt findet, indem eine fernere Verminderung des Konrgenzwinkels keinen neuen und entfernter liegenden Kreuzungspunkt, ndern nur eine **Verdopplung** des Endpunktes oder eine **Trennung** r Bilder $a_5 b_5$, $a^v b^v$ erzeugen kann, worin eine Veranlassung, die Augen f einen entfernteren Punkt zu richten, nicht mehr liegt.

Wenn man die gekreuzten Bilder in Ruhe erhalten will, muss man rsuchen, nicht im Allgemeinen den **Durchkreuzungspunkt** derseln, welcher keine **absolute**, sondern nur eine **relative** Vorstellung rbietet, sondern einen **bestimmten** Punkt des Fadens, welcher sich rch irgend ein Merkmal auszeichnet, sodass seine Identität stets sicher kannt werden kann, zu fixiren. Thut man Diess; so findet man die hwierigkeit, ein einfaches Bild von diesem Punkte aufzufassen, zwar niger gross, allein immer noch sehr erheblich. Mit **Gemächlichkeit** nn man einen solchen Punkt nicht fixiren: es waltet immer noch die igung ob, bei jedem Nachlass in der Energie des Sehens der Bewe-

gung des Kreuzungspunktes zu folgen und dadurch den Konvergenzwinkel der Augen noch mehr zu vermindern. Strengt man die Augen nun nicht erheblich an, sondern versucht mit der gewöhnlichen Anstrengung des Lesens den fraglichen markirten Punkt c_1 (Fig. 97) festzuhalten; so entsteht Folgendes. Die Augenaxen konvergiren anfangs im Punkte c_1 und derselbe bildet momentan den Kreuzungspunkt der Fäden. Bald vermindert sich jedoch wegen der ungenügenden Willensenergie die Konvergenz der Augen, der Kreuzungspunkt der Fäden rückt hinaus nach g und der markirte Punkt erscheint als Doppelbild c_1, c'. Man empfindet deutlich, dass es von unserem Belieben abhängt, das eine Bild c_1 oder das andere c' zu fixiren; also entweder mit dem linken oder mit dem rechten Auge deutlich zu sehen. Fig. 97 stellt den ersten Fall dar, wo man mit dem linken Auge deutlich sieht. Jetzt ist die Axe des linken Auges auf das Objekt c_1 gerichtet, die Axe des rechten Auges jedoch nicht. Letztere konvergirt zu schwach, hat also die Richtung $d'e$. Demzufolge fällt das Bild des Punktes c_1 auf die Netzhautstelle f dieses Auges, welche rechts von dem mit d_1 korrespondirenden Punkte d' liegt, folglich den Punkt c_1 für das rechte Auge mit einer Abweichung nach links, d. h. in c' erscheinen lässt.

Fig. 97.



6. Selbstständige Thätigkeit jedes Auges. Aus diesem Versuche geht hervor, dass ein Objekt, indem es ein Doppelbild erzeugt, von welchem das eine nicht im Netzhautbezirke des deutlichen Sehens liegt, doch fixirt werden kann und dass diese Fixirung nur von einem Auge ausgeht, dass also die Thätigkeit jedes Auges bis zu einem gewissen Grade eine selbstständige ist.

7. Allgemeine Unvollkommenheit des Einfachsehens. Man erkennt, dass das sogenannte Einfachsehen mit zwei Augen sich nur auf einzelne Punkte im Raume bezieht, nicht aber auf jedes beliebige Objekt, dass dasselbe also im Allgemeinen gar nicht stattfindet, dass man vielmehr fast alle Objekte beim Gebrauche beider Augen doppelt sieht. Diese Unvollkommenheit entspringt aus zwei Ursachen: einmal, weil ein körperliches oder ein in der Tiefendimension sich erstreckendes Objekt den beiden Augen verschiedene Bilder darbietet, und alsdann, weil ein ebenes oder ein von der Horopterfläche abweichendes Objekt seine zwar gleichen Bilder doch nicht auf korrespondirende Netzhautstellen wirft. Für Punkte, welche in derselben Vertikalebene liegen, sind diese Abweichungen im Ganzen unerheblich; für Punkte jedoch, welche in verschiedener horizontaler Entfernung vor uns liegen, wie z. B. bei dem vorstehend betrachteten Faden, können sie gross und auffallend werden.

Wie sich ein solcher Faden verhält, ebenso verhält sich beim Anblicke der Natur jede von uns abgewandte Kante eines Körpers. Ist z. B. Fig. 98 der Grundriss und Fig. 99 die Seitenansicht eines Würfels

A mit den beiden Augen *a* und *b* und der Bildfläche *cd*, auf welcher man die beiden stereoskopischen Bilder jenes Würfels entwerfen will; so

Fig. 98.

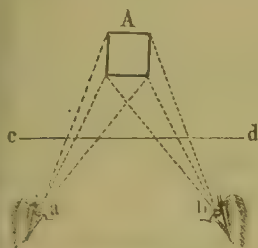


Fig. 99.

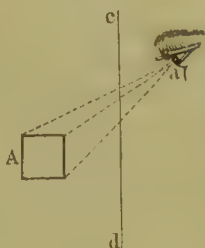
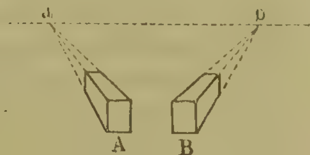


Fig. 100.



stellt in Fig. 100 *A* das Bild für das linke Auge und *B* das Bild für das rechte Auge dar.

Beide Bilder sind in den Richtungen der auf der Bildfläche normal stehenden Linien ganz verschieden. Dieselben können weder bei dem freien Blicke auf den Würfel in der Natur, noch bei dem Blicke auf die stereoskopischen Bilder Fig. 100 mittelst eines Stereoskopes zu einem einfachen Bilde vereinigt werden.

Ausserdem erkennt man, dass es ein perspektivisches Bild streng genommen nur für ein Auge geben kann, dass man also ein solches Bild auch nur mit einem Auge betrachten darf, um dasselbe deutlich zu sehen.

Ferner erhellt, dass sich stereoskopische Bilder für zwei Augen, auch wenn sie ganz richtig sind, niemals vollkommen zu einem einfachen Gesichtseindrucke verschmelzen können, weil ja der natürliche Anblick des Objektes selbst keinen einfachen Eindruck zu erzeugen vermag.

Einfach und zugleich genau wird nur der fixirte Punkt gesehen; einfach und ungenau die Gesammtheit der Punkte der Horopterfläche; doppelt und ungenau jeder andere Punkt.

Wenngleich der Blick mit einem Auge ein einfaches, der Blick mit zwei Augen dagegen ein doppeltes Bild giebt; so gewährt doch der Gebrauch beider Augen ein vollkommener stereoskopisches Gesammtbild; die Verdopplung der vom fixirten Punkte sich entfernenden Punkte stört in letzterem Falle weniger, als der Akkommodationsmangel, welcher mit dem Gebrauche nur eines Auges verbunden ist.

Übrigens verweise ich zur Ergänzung dieses Gegenstandes auf §. 13, wo gezeigt werden wird, dass man zwar aus vorstehendem Grunde ein Objekt doppelt sieht, dass aber gleichwohl zwei korrespondirende Netzhautelemente immer nur einen einfachen Gesichtseindruck erzeugen, dass also die Verdopplung den Eindruck zweier übereinander verschobenen Bilder macht, von welchen das eine Bild in diesen Theilen und das andere Bild in jenen Theilen sichtbar ist.

Ausserdem bemerke ich, dass wenn die Netzhautbilder in beiden Augen nahezu gleich sind und nahezu auf korrespondirende Netzhautstellen treffen, vermöge der in §. 21 No. 7 nachzuweisenden Beweglichkeit der Stäbchenschicht die Netzhaut in jedem Auge sich so verzieht, dass die beiden Bilder genau auf korrespondirende Ner-

venfasern fallen, dass also die Unvollkommenheit des Doppelsehens für geringe Abweichungen der Doppelbilder von einander oder von den korrespondirenden Netzhautstellen verschwindet.

8. Ursache der Konvergenz der Augenaxen. Wie schon früher bemerkt, konvergiren beide Augenaxen nur dann auf den fixirten Punkt, wenn beide Augen zum Sehen gebraucht werden. Beim Gebrauche nur eines Auges nähert sich die Axe des unthätigen Auges dem Parallelismus, und durch diese unsymmetrische Thätigkeit beider Augen erleidet die Vollkommenheit der Akkommodation Einbusse.

Da sich die Augenaxen, wenn man die Augen nicht gebraucht, parallel stellen und da, wenn nur ein Auge gebraucht wird, das unthätige sich dem Parallelismus nähert; so ist klar, dass die Konvergenz der beiden Augenaxen auf einen Punkt einen Zwang, eine Anstrengung erfordert. Diese Anstrengung geht aber unbewusst und willenlos vor sich. Die Veranlassung hierzu kann darin liegen, dass wenn die Netzhäute beider Augen durch zwei ganz gleiche Lichteindrücke getroffen werden, das an sich symmetrische Gesichtsorgan unsymmetrisch affizirt werden würde, wenn jene Eindrücke nicht auf korrespondirende Netzhautstellen fielen. Diese unsymmetrische und darum unangenehme Affektion ist meines Erachtens die unmittelbare Ursache, welche das Gesichtsorgan veranlasst, die Augenaxen so zu stellen, dass eine symmetrische Affektion eintritt.

Hieraus erklärt sich das gewaltsame und doch unbewusste Bestreben der Augen, die beiden Bilder eines Stereoskopes, selbst wenn sich ihr gegenseitiger Abstand ziemlich weit von der Richtigkeit entfernt, zusammenzuführen, ein Bestreben, welches sich sogar äussert, ehe man zwei korrespondirende Punkte der beiden Bilder aufgefunden hat und zu fixiren sich bemüht. Kömmt das Bewusstsein zweier zusammengehörigen Punkte und die Tendenz dieselben zu fixiren noch zu Hülfe; so sind die beiden Augen im Stande, zwei noch weiter voneinander gerückte stereoskopische Bilder zu vereinigen.

Wenn man beiden Augen die stereoskopischen Bilder von zwei ganz verschiedenen Objekten darbietet; so bleiben dieselben nicht indifferent in weitem Abstande voneinander liegen, sondern sie fahren ebenfalls zusammen und verschmelzen sich zu einem Kombinationsbilde, welches natürlich in mancher Hinsicht undeutlich und verworren ist. In diesem Falle ist allerdings der Lichteindruck in beiden Augen nicht gleich; allein gleichwohl entsteht durch die Affektion beider Netzhäute das Bestreben, die Affektionen in Beziehung auf Umfang, Intensität und Farbe so gut als möglich auf korrespondirende Netzhautstellen zu verlegen und dadurch den unsymmetrischen Angriff so gut als möglich zu vermeiden. Hierdurch allein wird das Zusammengehen der Bilder von zwei ganz verschiedenen Objekten verständlich.

Ausserdem ist klar, dass wenn man die beiden stereoskopischen Bilder einunddesselben Objektes miteinander verwechselt oder beiden Augen ein identisches Bild darbietet, der Eindruck bei dem Gebrauche beider Augen in den meisten Fällen immer noch viel stereoskopischer sein wird, als wenn man nur eins dieser Bilder mit dem betreffen-

den einen Auge betrachtet. Diese Behauptung gilt übrigens nur so lange, als das Objekt keine zu grossen Tiefendimensionen hat und überhaupt solange die durch den Gebrauch beider Augen beim Anblicke der ungenauen Bilder bewirkte vollkommenere Akkommodation noch die Störungen überwiegt, welche mit der unvollkommenen Vereinigung zweier nicht zusammengehörigen Bilder verbunden sind.

Wenngleich wir die Konvergenz der Augenaxen, ebenso wie den Akkommodationszustand des Auges willkürlich ändern können; so ist es doch nicht der Wille, welcher die richtige Konvergenz jener Axen und die richtige Akkommodation herstellt. Jene Konvergenz erfolgt so unbewusst und gewaltsam durch den Lichtreiz wie die Akkommodation; sie entspringt aus dem Bestreben der korrespondirenden beiden Sehnervenfasern, die Spitzen der korrespondirenden beiden Strahlenkegel auf sich zu vereinigen, und demnach ist die Konvergenz der Augenaxen ein wesentlicher Akt nicht der Muskelthätigkeit, sondern der Akkommodationsthätigkeit beim Sehen mit zwei Augen.

In §. 13 No. 10 werden wir unsere Ansicht über die materielle Organisation des Gesichtsapparates, welche eine solche Übereinstimmung der Akkommodationsthätigkeit der beiden Augen ermöglicht, darzulegen suchen.

§. 13.

Wettstreit und Identität der Sehfelder. — Einfachsehen.

1. Lichtstärke beim Gebrauche eines und beider Augen. Der Gebrauch beider Augen erhöht zwar etwas die Intensität des Lichteindruckes, welchen wir von einem Objekte erhalten, im Vergleich zu dem durch ein Auge erzeugten Eindrucke; allein keineswegs verdoppelt er ihn. Jene Erhöhung der scheinbaren Lichtstärke erscheint vielmehr nur als das Ergebniss der mit dem Gebrauche beider Augen verbundenen grösseren Vollkommenheit in der Funktionirung des Sehapparates, nicht als eine prinzipielle Verstärkung des Gehirnprozesses. In einem ganz vollkommenen Sehapparate würde ein Auge genau denselben Lichteindruck hervorrufen, wie zwei Augen.

Dass die Thätigkeit zweier Augen keinen grösseren Effekt hervorbringt, als die Thätigkeit eines Auges kann aber nur erklärlich erscheinen, wenn man annimmt, dass für irgend einen Punkt des Objektes stets nur ein Auge seine Thätigkeit bis zum Gehirne erstrecke.

2. Vorwalten eines Auges. Aus der letzteren Annahme erläutert sich denn auch das unvermerkte Vorwalten des Eindruckes des einen Auges unter Umständen, wo dasselbe eine grössere Thätigkeit entwickelt, und das Erlöschen des Eindruckes des anderen Auges, wenn dessen Thätigkeit beschränkt ist. Namentlich erlischt leicht die Wirkung eines Auges, wenn die in dasselbe tretenden Strahlen durch dunkele Gläser geschwächt werden.

Ferner steht hiermit die in §. 12 No. 4 erwähnte Thatsache im Einklange, dass zwei verschiedene Farben, welche von beiden Augen einzeln empfunden werden, sich nicht in ihren physiologischen Wirkungen vermischen, sondern miteinander kämpfen, sodass bald die eine, bald die andere allein besteht. So erhält man, wenn das eine Auge nur gelbe und das andere nur blaue Strahlen empfängt, nicht den Eindruck der grünen, sondern bald den der gelben, bald den der blauen Farbe. Dieses Obwalten nur einer Farbe braucht nicht gerade über das ganze Sehfeld sich zu erstrecken; vielmehr gilt dasselbe immer nur von zwei korrespondirenden Nervenfasern. Unter Umständen ist es möglich, dass von der Gesammtheit aller korrespondirenden Nervenfasern ein Theil des einen Auges für die eine Farbe und der andere Theil des anderen Auges für die andere Farbe vorwaltet. Alsdann erscheint das Objekt gefleckt, und werden die Flecken klein; so entsteht im Sensorium eine Verschmelzung der beiden Farben wegen der möglichst gleichmässigen Vertheilung der verschiedenen elementaren Farbeneindrücke; unter diesen besonderen Umständen kann sich also ausnahmsweise einmal aus dem gelben und blauen Felde ein grünes entwickeln.

Am leichtesten lässt sich die einseitige Thätigkeit jedes Auges beobachten, wenn man zwei verschieden gefärbte Blätter Papier nebeneinander legt und das Auge auf einen näheren oder entfernteren Punkt akkommodirt. Die verschiedenfarbigen Doppelbilder greifen alsdann übereinander, ohne dass sich die Farben mischen. Von einer gelben und blauen Fläche erhält man kein grünes, sondern ein Bild, welches stellenweise gelb, stellenweise blau ist; die Grösse dieser Stellen variirt, sodass bald einmal die ganze Fläche gelb, bald einmal blau erscheint.

Nimmt man zwei Komplementärfarben, wie Roth und Grün; so entsteht durch die Überdeckung nicht etwa ein weisses oder graues, sondern ein Objekt mit variabelen rothen und grünen Stellen.

3. Wettstreit der Sehfelder. Wir nehmen nun an, dass die Thätigkeiten zweier korrespondirenden Netzhautelemente sich durchaus nicht verschmelzen, dass die Thätigkeit des einen zur Erweckung des betreffenden Gehirnprozesses genügt und auch nur stattfindet, und dass immer die Faser desjenigen Auges thätig ist, welche am stärksten erregt wird. Die Stärke der Erregung hängt übrigens nicht ausschliesslich von der objektiven Intensität des Lichtes, sondern auch von der Güte der Akkommodation des betreffenden Auges oder dessen subjektiver Spannung ab. Auf diese Weise findet ein Wettstreit nicht der ganzen Sehfelder, sondern der einzelnen korrespondirenden Fasern statt. Der Gesichtseindruck, welchen wir von einem Objekte empfangen, rührt daher stellenweise ausschliesslich von Elementen des einen und stellenweise ausschliesslich von Elementen des anderen Auges her.

Betrachten wir ein Objekt nur mit einem Auge; so sind alle von dem Netzhautbilde getroffenen Nervenfasern dieses Auges in Thätigkeit. Öffnen wir jetzt auch das zweite Auge zum Sehen; so erlischt die Thätigkeit einzelner Elemente des ersten Auges und es treten die korrespondirenden Elemente des anderen Auges dafür ein. Die Unterstützung

›eider Augen liegt nur in einer besseren Normalisirung aller ›rozesse, namentlich der Akkommodation. Im Wesentlichen ver-ichten immer nur einseitige Netzhautelemente die Funktion des ›ehens und es findet zwischen den korrespondirenden Fasern eine ›urch die Umstände bedingte Ablösung statt.

Zur Erklärung dieses Vorganges müssen wir annehmen, dass wenn ›er eine Zweig eines korrespondirenden Fasernpaares den vom äusseren ›ichtreize erregten Nervenstrom in das Gehirn einführt, dem anderen ›rme die gleichzeitige Einführung eines solchen Stromes versperrt ist. ›öglich, dass in Folge dieser Versperrung ein eigentlicher Nervenstrom › der korrespondirenden Faser gar nicht zu Stande kömmt; immer aber ›ird der äussere Lichtreiz die Tendenz hierzu unterhalten, also diese ›aser nicht etwa unaffizirt lassen, sondern ihr eine Spannung mitthei-›n, vermöge welcher sie stets bereit ist, einen Nervenstrom ins Gehirn › senden, sobald der Leitungswiderstand verschwunden ist. Die kor-›spondirende Faser ist also stets mit in Anspruch genommen und bei ›r Gesammtthätigkeit mit betheiligt: in Folge dessen trägt sie dazu bei, ›e Akkommodation auf das Objekt fortwährend straff zu erhalten, ›n Dienst des einen Auges zu ersetzen, wenn es etwa schlaff würde, und ›n ganzen Sehprozess in einen normalen Zustand zu versetzen.

Weiter unten in No. 10 werden wir einige Betrachtungen über die ›aterielle Grundlage dieses Vorganges anstellen.

4. Erläuterung einiger Erscheinungen. Durch diese Hypothese ›äutern sich nicht bloss die schon in No. 1 und 2 besprochenen Erschei-›ngen der konstanten Lichtstärke beim Gebrauche eines oder beider ›gen und der Nichtvermischung verschiedenfarbiger Sehfelder, ›ndern auch manche anderen Erscheinungen, namentlich an den Doppel-›dern, welche sich bei falscher Akkommodation auf ein Objekt erzeu-›n. Die zwei Figuren, in welche ein Objekt auseinandergeht, wenn man ›en näheren oder einen entfernteren Punkt fixirt, sind an den Stellen, › sie sich nicht decken, durchscheinend, sodass man durch dieselben ›durch den Hintergrund erblickt. Allein der Grad der Durchsichtigkeit › einzelnen Theile dieser Figuren ist sehr verschieden und wech-›nd. An manchen Stellen sieht man nur den Hintergrund, an ›nchen nur das verdoppelte Objekt, jenachdem für eine solche ›lle das eine oder das andere Auge vorwaltet. Sowie für die ganze ›sdehnung einer solchen Figur das eine Auge vorwaltet, erscheint ›elbst nur das Objekt ohne den Hintergrund, und sobald das andere ›ge vorwaltet, verschwindet das Objekt und es erscheint nur der Hin-›grund.

Die Grenze eines Netzhautbildes ist immer eine Stelle, wo die Af-›ion und der Akkommodationszustand der Netzhaut plötzlich wechselt, ›also die Veranlassung zu einer grösseren Spannung und Aufmerksam-› gegeben ist. Demnach erscheint die Doppelfigur an ihren Gren-› immer am deutlichsten.

Die hierdurch erzeugte stärkere Anregung der Netzhaut bewirkt so-› dass ein dunkeles Objekt vor einem hellen prävaliren kann. Diese ›kung wird erhöht, wenn das Auge sich besser auf die Entfernung des

dunkelen Körpers akkommodirt oder wenn derselbe erheblich näher liegt, als der helle. So kann das Doppelbild eines schwarzen Körpers einen ganz hellen Hintergrund temporär verdecken oder unsichtbar machen und Diess geschieht umso leichter, wenn man das Auge auf einen Punkt akkommodirt, welcher näher, nicht entfernter liegt als der dunkele Körper, sodass also das Auge besser auf diesen Körper, als auf den Hintergrund akkommodirt ist.

Ferner erklärt sich hierdurch die Unfähigkeit mancher Personen, oder die grosse Schwierigkeit, welche sie finden, ein Objekt durch falsche Akkommodation doppelt zu sehen. Bei ihnen waltet an jeder Seite des Objektes nur ein Auge auf die ganze Ausdehnung des Gesichtsfeldes vor, sodass sie nur denjenigen Theil des Objektes sehen, in welchem die Doppelbilder aufeinander fallen, während sie rechts und links von diesem Theile ausschliesslich den Hintergrund sehen. Diess ist eine Folge davon, dass jene Personen ihre Aufmerksamkeit nicht leicht von dem Akkommodationszustande trennen und das Auge beherrschen können, um unvollkommenen Reizungen durch erhöhte Aufmerksamkeit oder subjektive Spannung einen grösseren Einfluss auf das Gesichtsorgan zu verschaffen.

Die Beobachtung dieser Doppelbilder ist zugleich ein einfaches Mittel, um zu konstatiren, dass das mit beiden Augen gesehene Objekt nicht lichtstärker und nicht lichtschwächer erscheint, als das mit nur einem Auge gesehene. Unsere Nase verdeckt dem rechten Auge die linke Seite des Gesichtsfeldes, dem linken Auge verdeckt sie die rechte Seite des Gesichtsfeldes und in der Mitte lässt sie beiden Augen ein gemeinschaftliches Stück des Feldes frei. Betrachtet man nun einen Bogen weisses Papier; so erscheinen alle diese drei Stellen nahezu gleich weiss, wenn man die Papierfläche scharf fixirt, obwohl doch jede erstgenannte Stelle nur ein Auge, die letzgenannte dagegen zwei Augen affizirt. Namentlich erkennt man den grossen Unterschied zwischen der Wirkung der doppelten Lichtstärke und der Wirkung derselben Lichtstärke auf beide Augen sehr deutlich bei der Betrachtung einer von zwei Kerzen beschienenen Papierfläche, auf welcher ein Schatten werfender Körper steht, welcher also in seinen Schatten Flächen von halb so grosser Lichtstärke neben der von beiden Kerzen voll erleuchteten Fläche zeigt. Jene halben Lichtstärken erscheinen gegen die ganze Lichtstärke als dunkele Schatten; die durch die Nase geschiedenen Seitentheile des Gesichtsfeldes, welche die ganze Lichtstärke in ein einzelnes Auge senden, erscheinen aber ebenso hell als das Mittelfeld.

Ebenso erscheint eine schwarze Fläche an diesen drei Stellen nahezu gleich schwarz, selbst wenn man die Nase mit weissem Papier belegt.

Nach Vorstehendem kann es auch nicht befremden, dass Menschen auf einem Auge erblinden, ohne es zu bemerken. Die Sehthätigkeit bleibt im Wesentlichen dieselbe; es hört nur die Ablösung im Dienste der beiden Augen auf.

5. Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit der Doppelbilder. Die durch falsche Akkommodation entstehenden Doppelbilder sind allerdings an den Stellen, wo sie nicht aufeinander fallen, durchsichtig;

Man kann durch ein solches Bild hindurch ein anderes Objekt im Hintergrunde sehen. Allein man muss beachten, dass in dem Augenblicke, wo man durch eine Stelle eines solchen Bildes hindurch blickt, nur die betreffende Faser des auf den Hintergrund blickenden einen Auges thätig, die korrespondirende Faser des anderen Auges, welchem das Doppelbild angehört, aber unthätig ist, dass also in diesem Augenblick das Doppelbild an jener Stelle gar nicht existirt. Wo das Doppelbild nicht existirt, existirt allerdings der Hintergrund als sichtbares Objekt für das andere Auge: umgekehrt muss man auch sagen, dass wo das Doppelbild existirt, der Hintergrund als sichtbares Objekt nicht existirt. Demnach ist im eigentlichen Sinne des Wortes jedes Doppelbild undurchsichtig, indem es da, wo es erscheint, jedes hinterliegende Objekt verdeckt. Der eigentliche Charakter des Doppelbildes ist sein Wechsel zwischen Bestehen und Erlöschen. Dieser Wechsel geht häufig unvermerkt, d. h. unter dem Einflusse von Ursachen vor sich, auf welche wir nicht achten und welche auch theilweise, wie z. B. die objektive Helligkeit, nicht von uns abhängen. Über eine Ursache können wir jedoch gebieten: Diess ist die Akkommodation auf die hinter dem Doppelbilde liegenden Objekte. Sowie wir ein solches Objekt fixiren, sind wir im Stande, das Doppelbild an der betreffenden Stelle zu vernichten, also durch dasselbe hindurch zu blicken, insofern nicht das Doppelbild eine zu energische Lichtstärke besitzt, welche durch ihren objektiven Reiz die Akkommodation auf das entferntere Objekt unmöglich macht. So ist man z. B. ausser Stande, durch das Doppelbild einer Kerzenflamme auf einen dunkelen Hintergrund zu blicken.

Die Erzeugung des Doppelbildes an den Stellen, wo es durch die objektive energische Wirkung des Hintergrundes vernichtet wird, also die Verdeckung des Hintergrundes an dieser Stelle ist meistens schwierig und erfordert jedenfalls, dass man den Hintergrund nicht fixirt.

6. Nothwendigkeit der einseitigen Wirkung des Gesichtsorganes. Ich habe den Namen Wettstreit der Sehfelder beibehalten, obgleich man hierunter in der Physiologie etwas Anderes versteht. Man nimmt nämlich an, dass das eine Auge unter gewissen Umständen ermüde, sodass alsdann seine Thätigkeit gegen die des anderen zurücktrete und in manchen Fällen ganz verschwinde. Dieser Zustand gilt für einen abnormen, dessen Ursache unerklärt bleibt; als normaler Vorgang wird die gleichmässige Thätigkeit beider Augen angesehen.

Hiervon unterscheidet sich unsere Hypothese wesentlich in der Art, dass ich die einseitige Thätigkeit des Gesichtsorganes für je zwei korrespondirende Netzhautstellen für den normalen und die gleichzeitige Thätigkeit solcher zwei Nervenfasern für eine Unmöglichkeit halte. Diese Unmöglichkeit liegt in der Einrichtung des Gesichtsorganes, und der Umstand, dass sich ein gelber und ein blauer Strahl, welche zwei korrespondirende Netzhautpunkte treffen, nicht zu einem grünen, und dass sich ein rother und ein grüner nicht zu einem weissen verbinden, dass vielmehr ein solcher Punkt abwechselnd in der einen und in der anderen Farbe erscheint, ferner der Umstand, dass man bei der Entstehung eines Doppelbildes von einem nicht fixirten Objekte in einem Punkte die-

ses Bildes niemals gleichzeitig das Bild und den Hintergrund, sondern nur eins von beiden sieht, ist ein vollgültiger Beweis für die Thatsache, also für die faktische Unmöglichkeit der gleichzeitigen Wirkung zweier korrespondirenden Netzhautelemente.

Andererseits kann ich der schon früher in der Physiologie aufgetauchten, späterhin aber wieder verlassenen Ansicht nicht beitreten, dass der Gesichtseindruck von einem Objekte stets von einem Auge hervorgebracht werde, dass also die ganze Netzhaut des anderen Auges im Bereiche des Netzhautbildes unthätig sei. Bei einem Objekte, welches kein Punkt ist, sondern eine Ausdehnung besitzt, sind stets oder doch unter normalen Umständen beide Augen thätig, das eine Auge liefert die Vorstellung einer gewissen Menge von Punkten des Objektes und das andere Auge die der übrigen. Die Einseitigkeit der Thätigkeit bezieht sich nur auf die beiden Zweige eines Paares korrespondirender Netzhautelemente.

Diese einseitige Wirkung des Gesichtsorganes zeigt sich bei genauerer Erwägung als eine nothwendige Bedingung für ein deutliches Sehen. Offenbar kann ein Objekt, welches nicht bloss aus einem Punkte besteht oder in einer Horopterfläche liegt, sondern eine beliebige körperliche Ausdehnung nach der Seite oder nach der Tiefe hat, nur von einem einzigen seiner Punkte Lichtbilder auf korrespondirende Netzhautpunkte der beiden Augen führen, jeder andere leuchtende Punkt erzeugt zwei Bilder, deren Nervenelemente nicht korrespondiren. Von den Fasern, welche durch die beiden Netzhautbilder getroffen werden, sind also je zwei korrespondirende nicht von demselben, sondern von zwei verschiedenen leuchtenden Punkten des Objektes affizirt. Fände nun eine gemeinschaftliche Thätigkeit der korrespondirenden Fasern statt; so würde jedes korrespondirende Fasernpaar einen Gesichtseindruck hervorbringen, welcher eine Kombination von zwei verschiedenen Objektpunkten wäre. Dieselbe Kombination würde sich noch bei einem andern Fasernpaare wiederholen. Der Totaleindruck wäre die Kombination zweier übereinander verschobenen Bilder des Objektes, welche in keinem Punkte eine deutliche, scharfe, dem Objekte entsprechende Vorstellung zu erzeugen vermöchte.

Ganz anders verhalten sich die Sachen bei einseitiger Wirkung der Fasernpaare. In diesem Falle liefert jedes korrespondirende Fasernpaar momentan immer nur eine einfache Gesichtsvorstellung und zwar entweder von demjenigen Punkte des Objektes, welcher die eine Faser affizirt, oder von dem anderen Punkte, welcher die andere Faser affizirt. In dieser Thätigkeit kann ein Wechsel eintreten; aber niemals tritt Verschmelzung verschiedener Objektpunkte ein; es bleibt also die Deutlichkeit der Erkenntniss gesichert und insofern ist die Einseitigkeit der Augenthätigkeit oder der Wettstreit der Sehfelder für das Prinzip des Sehens von grosser Wichtigkeit.

7. Das Übergehen der Augen und das plötzliche Verschwinden des Objektes. Wenn nun nach unserer Annahme die Thätigkeit einer Faser von einem korrespondirenden Paare die Thätigkeit der an-

eren ausschliesst; so ist klar, dass immer nur diejenige Faser die Virkung vollführen kann, deren Energie vorwaltet. Mit jeder organichen Thätigkeit ist Stoffwechsel und zwar Stoffverbrauch und in Folge essen Ermüdung verbunden. Nach einer gewissen Zeit der Thätigkeit er einen Faser wird also von selbst ihre Kraft erlöschen und es wird die adere Faser in Wirksamkeit treten.

Aus diesem Wechsel der einseitigen Thätigkeiten wird sich die Beeglichkeit oder Unstätheit des Gesichtseindruckes erklären, elche man bei langer Fixirung eines Objektes empfindet. Man fühlt ch momentan unfähig, den Gesichtseindruck absolut ruhig gefesselt zu lten; er entwindet sich der Akkommodationsgewalt und kehrt darauf it grösserer Festigkeit wieder. Ich vermuthe, in diesem Wechsel der einitigen Thätigkeit grösserer Mengen von Fasernpaaren beruht das sogennte Übergehen der Augen.

Wenn die Kraft einer Faser erlahmt; so befindet sie sich in einem istande fortschreitender Kraftveränderung. Sowie der Moment r Kraftgleichheit mit der anderen Faser eintritt, wird auch diese dere Faser vorwalten, weil die erste fortfährt schwächer zu werden. enngleich hiernach der Zustand des Gleichgewichtes zwischen zwei rrespondirenden Fasern nicht leicht auf längere Zeit bestehen kann; so es doch wohl möglich, dass er unter Umständen einen Zeitraum von issiger Dauer umfasst. Wegen der Ausschliesslichkeit der Wirkung r einer Faser wird in einem solchen Zustande das betreffende Faserniar gar keine oder doch nur eine abnorme, also schwache Wirng zu erzeugen vermögen, der Gesichtseindruck wird daher zeitweise jener Stelle erlöschen oder doch schwach werden.

Es müssen sehr ungewöhnliche Ereignisse zusammentreffen, wenn eser Zustand des labilen Gleichgewichtes viele benachbarten Fasernare zu gleicher Zeit heimsuchen soll. Gleichwohl ist ein solches Zummentreffen möglich und ich erkläre daraus das plötzliche Verawinden eines Objektes, welches wir zu fixiren trachten, und das ederauftauchen desselben nach einiger Zeit. Diess ereignet sich beiders in Zuständen, wo das gesammte Gesichtsorgan schon sehr ermüdet er wo das fixirte Objekt sehr klein und lichtschwach, z. B. ein kleiner rn am nächtlichen Himmel ist.

8. Das Grundprinzip des Einfachsehens und der korrespon-enden Netzhautstellen. Aus allen vorstehenden Erwägungen erbt sich der Schluss, dass die korrespondirenden Netzhautstellen ch die zugehörigen Nervenfasern zu einem festen organischen Syme verbunden sein müssen. In §. 10 No. 7 haben wir gezeigt, dass zwar in einem aus doppelten Organen symmetrisch gebildeten Gesichtsarate immer zwei Netzhautelemente geben muss, deren Thätigkeiten i in der Vorstellung decken. Hiernach schiene also das Einfachien mit zwei Augen von selbst zu kommen, ohne dass die Nervenrn paarweise in einen organischen Zusammenhang gesetzt würden. ein es handelt sich beim Sehen mit zwei Augen nicht bloss um ein fachsehen in der Beziehung, dass man nur örtlich ein einziges Ob-t sieht: dieser Zweck wäre allerdings durch die rein geometrische

Bedingung des Deckens zweier Bilder zu erfüllen und erforderte keinen besonderen Organisationsplan: auch völlig unabhängige Nervenfasern würden denselben realisiren können. Es handelt sich vielmehr darum, dass das Objekt in allen seinen optischen Eigenschaften, also in Beziehung auf Raum, Lichtstärke und Farbe einfach oder sich selbst gleich erscheine, gleichviel ob man dasselbe mit einem oder mit beiden Augen betrachte. Zu diesem Zwecke genügt nicht das Decken zweier gleichen Vorstellungen, sondern die Erzeugung nur einer einzigen oder die Vernichtung der zweiten, insofern dieselbe möglich wäre.

Da nun aus den unabhängigen Thätigkeiten zweier Nervenfasern nothwendig zwei, wennauch kongruente Vorstellungen hervorgehen würden; so ist es unerlässlich, dass ihre Unabhängigkeit aufgehoben, dass also eine organische Beziehung zwischen jedem korrespondirenden Fasernpaare gestiftet werde. In dieser organischen Beziehung besteht das Prinzip der Identität der Netzhautstellen.

Ein direkter Beweis für diese organische Verbindung würde sich ergeben, wenn es vorkäme, dass das Sehfeld in dem einen Auge im Vergleich mit dem anderen nicht bloss gegen die Augenaxe und den vertikalen Meridian verschoben oder verdreht, sondern in seinen einzelnen Theilen anders zusammengesetzt oder verzerrt wäre, dass sich die Affektionen unregelmässig liegender Paare von Nervenfasern einfache Gesichtseindrücke lieferten. Denn ständen die beiden Zweige dieser Fasernpaare in keiner organischen Verbindung; so wäre das systematische Zusammenwirken der Fasernpaare bei ihrer unregelmässigen Lage unbegreiflich.

9. Gemeinschaftliche Akkommodation der korrespondirenden Netzhautstellen. Es ist schon bemerkt, dass die Einseitigkeit der optischen Wirkung in jedem korrespondirenden Fasernpaare nicht auf die gänzliche Unthätigkeit der einen Faser schliessen lässt. Diese Faser wird von dem äusseren Lichtstrahle so gut gereizt wie die andere: wenn sich nun in derselben der Nervenstrom bis zum Gehirne nicht ausbilden soll; so muss jener Reiz offenbar eine andere Wirkung thun, welche den Abschluss jenes Stromes im Gefolge hat. In der That giebt sich auch eine lebhafte Thätigkeit der optisch unwirksamen Faser in dem energischen Bestreben zu erkennen, sich mit der anderen Faser auf denselben Lichtreiz einzustellen oder auf denselben Objektpunkt zu akkommodiren; es bewahrheitet sich also durch diese besondere Thätigkeit die in der vorhergehenden Nummer hervorgehobene organische Verbindung der korrespondirenden Fasernpaare.

Die Lebhaftigkeit und Unwillkürlichkeit des Bestrebens jedes korrespondirenden Fasernpaares zu gleicher Akkommodation lässt sich besonders durch folgende Experimente darthun.

Sticht man nach Fig. 101 in einem Abstande ab, welcher etwas kleiner ist als der Abstand der Augen, mit der Nadel zwei gleiche Figuren a, b in ein Kartenblatt, welche, gegen den Himmel

Fig. 101.



ehalten, als Sternfiguren erscheinen, und akkommodirt das Auge auf inen entfernteren Punkt; so entsteht aus jeder Figur ein Doppelbild. Die eiden inneren Bilder nähern sich einander und je näher sie sich kommen, esto fühlbarer wird die Tendenz der Augen, diese Bilder zu vollständiger Deckung aufeinander zu führen. Sowie sie zur Deckung gekommen sind, aften sie mit grosser Gewalt aufeinander, die Augen sind an diese Stelung förmlich gefesselt, während sie vorher leicht schwankten.

Macht man eine Reihe von Nadelstichen *ab* (Fig. 102); so fährt dieselbe bei der Akkommodation der Augen auf eine grössere oder kleinere Entfernung in zwei Reihen auseinander, welche bei richtiger Hal-

Fig. 102.



ung des Blattes in derselben geraden Linie liegen. Man sollte nun auben, dass es leicht wäre, diese beiden Reihen von hellen Löchern leicht jede beliebige Lage gegeneinander zu bringen, dergestalt, dass die unkte der zweiten Reihe jeden beliebigen Abstand gegen die Punkte der sten Reihe einnähmen: allein Diess ist sehr schwer, die beiden eihen decken sich immer, während also die Axe des linken Auges urch irgend ein Loch des Kartenblattes geht, zeigt die Axe des rechten uges entweder auf dasselbe oder auf das zunächst dabei liegende ler auf das zweite oder dritte Loch u. s. w., niemals auf einen dazvischen liegenden Ort. Hieraus muss man auf ein lebhaftes Bestreben eider Augen schliessen, korrespondirende Fasernpaare in gleiche Affekonszustände zu bringen.

Statt des durchlöcherten Kartenblattes kann man sich auch eines geöhnlichen gezackten Kammes bedienen. Hält man denselben gegen n Himmel und blickt auf einen entfernteren Punkt; so erscheint der umm doch immer als eine einfache Zackenreihe: es treten nicht die acken des Doppelbildes zwischen die des anderen Bildes.

Ein Kamm, dessen erste Hälfte aus stärkeren Zacken besteht als ssen zweite Hälfte, eignet sich auch recht gut dazu, um den Wettreit der Sehfelder deutlich zu machen. Bei der Akkommodation auf össere oder kleinere Entfernung fällt das Bild der stärkeren Zacken er das Bild der schwächeren oder enger stehenden. Da sich diese uneichen Bilder nicht decken können; so sieht man anfangs allerdings ein oppelbild von starken und schwachen Zacken: bei längerem Hinsehen rschwindet aber bald das eine, bald das andere dieser beiden Bilder.

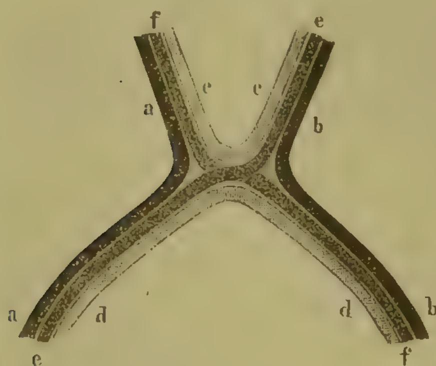
Interessant ist auch der Blick durch irgend eine nach einem kleinen uster durchbrochene Fläche, z. B. durch ein Sieb oder durch eine fein rchbrochene Metallplatte oder durch die Glasscheibe eines Jalousieasters mit mattem Muster. So beliebig man auch die Sehweite glaubt hlen, also eine durch ungenaue Überdeckung der Doppelbilder enthende undeutliche Figur erzeugen zu können, immer fühlen sich die gen zu einer solchen Konvergenz gezwungen, dass das Muster einfach d scharf erscheint, dass also die Doppelbilder sich decken oder korpondirende Fasern von gleichem Lichtreize getroffen werden.

Aus allem Diesen muss man den Schluss ziehen, dass die ungleiche Affektion zweier korrespondirenden Netzhautfasern ein Zustand ist, bei welchem ein stabiles Gleichgewicht des Augenpaares nicht bestehen kann, besonders wenn es sich um das axiale Fasernpaar handelt. Diese Ungleichheit ist theils durch die Lichtstärke, theils durch die Farbe, theils durch die Entfernung des Objektes bedingt. Das Augenpaar strebt also nach symmetrischer Affektion, oder die unsymmetrischen Reize nöthigen dasselbe zur Bewegung und Aufsuchung der stabilen Lage. Diese Lage wird bei gleicher Affektion der korrespondirenden Netzhautstellen erreicht: gleichzeitig wird aber der Durchgang des Nervenstromes der einen Faser nach dem Gehirne unterbrochen, ohne dass die vom äusseren Reize abhängige Tendenz zur Selbstthätigkeit aufhört.

10. Die materielle Basis des Wettstreites. Die materielle Basis, worauf die einseitige Wirkung eines korrespondirenden Fasernpaares und die Identität der Netzhautstellen beruht, wird erst dann klar werden, wenn die Organisation des Sehapparates in allen seinen Theilen, insbesondere die Verbindungen der einzelnen Nervenfasern im Chiasma und mit dem Gehirne genügend erforscht ist. Die in §. 4 mitgetheilten, der Ophthalmologie von Ruete, S. 115, entnommenen Forschungen von Hannover über das Chiasma lüften übrigens den Schleier soweit, dass man es wagen kann, einige vorläufigen Ansichten über jenen Gegenstand auszusprechen.

Hiernach geht von jedem Auge ein Nervenbündel *a a*, *b b* (Fig. 103), das linke und das rechte Bündel (*fasciculus sinister et dexter*) nach derselben Seite des Gehirnes und ein anderes Bündel *e e*, *f f* nach der entgegengesetzten Seite des Gehirnes: die letzten beiden Bündel kreuzen sich und heissen darum die gekreuzten Bündel oder die gekreuzte Verbindung (*commissura cruciata*). Ausserdem geht ein Nervenbündel *c c*, das vordere bogenförmige Bündel (*commissura arcuata anterior*), von dem einen Auge zum anderen und ein Bündel *d d*, das hintere bogenförmige Bündel (*commissura arcuata posterior*), von der einen Gehirnseite zur anderen. Endlich findet sich ein Nervenbündel, das henkelförmige Bündel (*commissura ansata*) vor, welches in der vertikalen Mittellinie des Gehirnes obere Gehirntheile mit unteren verbindet.

Fig. 103.



Alle diese Bündel scheinen eine mehr oder minder vollständige Berührung untereinander zu suchen und zu dem Ende nicht bloss durch eine gemeinschaftliche Begegnungsstelle, das Chiasma oder optische Kreuz, zu gehen, sondern auch vor und hinter demselben sich umeinander zu wickeln. Ob dabei alle Primitivfasern miteinander in

Berührung kommen, ist noch nicht ausgemacht; jedenfalls findet diese Berührung für dickere und dünnere Theile jener Bündel statt.

Dass es auf eine solche gegenseitige Berührung der verschiedenen Bündel abgesehen ist, muss man daraus schliessen, dass sie sämmtlich durch eine gemeinschaftliche Stelle, das Chiasma, gehen: denn ohne diesen Zweck scheint kein Grund vorzuliegen, warum das vordere bogenförmige Bündel *cc* nicht die beiden Augen, das hintere bogenförmige Bündel *dd* nicht die beiden Gehirnhälften, das henkelförmige Bündel nicht die oberen und unteren Gehirntheile auf direktem Wege verbänden: die Hinführung dieser Nerven nach dem Chiasma wäre nicht allein zwecklos, sondern sogar schädlich, weil eine Verbindung unabhängiger Nerven nur Funktionsstörungen veranlassen könnte. Die örtliche Berührung, wenn sie auf einem organischen Prinzipe beruht, kann aber keinen anderen Zweck haben, als vermöge einer materiellen Gemeinschaft organische Einwirkungen aufeinander zu veranlassen. Dass die Berührung von Nerven überhaupt dazu angethan ist, gegenseitige Thätigkeiten nach dem Plane des Organismus zu erwecken, muss überhaupt aus den Erscheinungen des Nervenlebens, welche aus den Verzweigungen und Verflechtungen der verschiedenen Nerven entspringen, geschlossen werden.

Ob sämmtliche vorhin genannten Bündel nur sensuelle Nerven enthalten, ob einige derselben nur motorische Nerven einschliessen, ob sensuelle und motorische Nerven nebeneinander in demselben Bündel liegen, ob einunddieselbe Nervenfaser fähig sei, gleichzeitig sensuelle und motorische Funktionen dergestalt zu verrichten, dass der vom Auge nach dem Gehirne gehende sensuelle Nervenstrom den vom Gehirne nach dem Auge führenden motorischen Strom nicht stört, alles dieses sind Fragen, welche zur Zeit noch nicht beantwortet werden können. Mir scheint jedoch, dass unzweifelhaft die gekreuzten Bündel sensuelle Nerven führen und dass wahrscheinlich auch das rechte und linke Bündel aus solchen Nerven bestehen. Dagegen glaube ich, dass das vordere und hintere bogenförmige und das henkelförmige Bündel keine sensuellen, sondern regulirende oder motorische Prozesse vermittle.

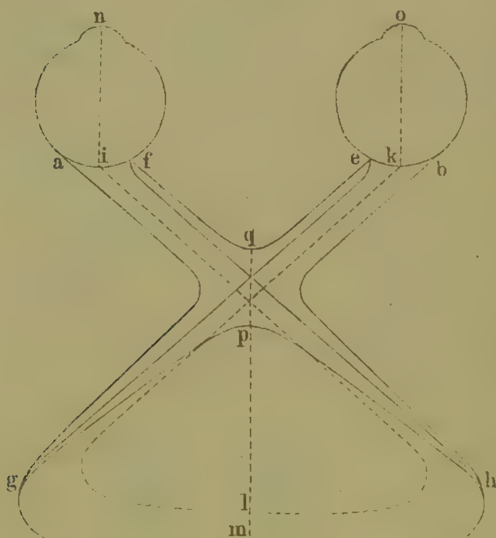
Es ist nämlich nach der Anführung von Ruete (S. 119) durch G. Weber, J. Müller und Longet beobachtet, dass Krankheiten des …hhügels und der Vierhügel im Gehirne Störungen der Netzhaut beider …ugen und zwar auf derselben Seite der Pole zur Folge haben. …eraus dürfte zu schliessen sein, dass das gekreuzte Bündel *ee* und das …ke Bündel *aa* von demselben Punkte der linken Gehirnhemisphäre eine …nsuelle Faser nach beiden Augen führen und dass diese beiden Fasern … zwei korrespondirenden Netzhautelementen an der linken …ite jedes Auges endigen. Das gekreuzte Bündel *ff* und das rechte …ndel *bb* versorgen in gleicher Weise die rechten Hälften beider Augen … der rechten Gehirnhemisphäre her.

Diese Verhältnisse sind schematisch in Fig. 104 (a. f. S.) dargestellt. …m Punkte *g* der linken Hemisphäre führen die beiden Fasern *ga*, *ge* …ch den korrespondirenden Punkten *a*, *e* in den linken Netzhauthälften. …m Punkte *h* der rechten Hemisphäre führen die beiden Fasern *hb*, *hf*

nach den korrespondirenden Punkten *b*, *f* der rechten Netzhauthälften. Jeder Augenpol *i*, *k* müsste hiernach durch eine Doppelfaser, eine gekreuzte und eine bogenförmige ausgezeichnet sein, welche in der Mittellinie des Gehirnes *lm* ihren Ursprung hätten: möglicherweise könnte aber von diesen, sowie von allen die vertikalen Meridiane *in*, *ko* der Netzhäute bedienenden Doppelfasern die eine unterdrückt sein.

Wir nehmen nun an, dass an einem Punkte des Gehirnes wie *g* von den beiden daselbst eintretenden Fasern *ag*, *eg* nur eine einzige einen Nervenstrom in das Gehirn zu leiten vermag, dass also die Öffnung der Nervenleitung für die eine mit einem Schlusse der Leitung für die andere verbunden ist. Auf diese Weise kann von den beiden korrespondirenden Nervenelementen *a*, *e* nur eins funktioniren. Dabei ist das andere nicht ganz unthätig: denn in Folge des an seinem Endpunkte im Auge sich geltend machenden Lichtreizes besteht in demselben fortwährend eine Tendenz oder Spannung, welche einen Strom zu erzeugen oder den Strom der konkurrirenden Faser zu verdrängen strebt. Dieser Mitthätigkeit der korrespondirenden Faser kann man aber ausser der zeitgemässen Ablösung der anderen Faser auch die Erzielung einer schärferen Akkommodation zuschreiben.

Fig. 104.



Die Absperrung des Stromes in der korrespondirenden Faser könnte im Gehirne selbst, am Punkte *g* geschehen: es däucht mir jedoch wahrscheinlicher, dass sie schon im Chiasma erfolgt, und es ist möglich, dass die entsprechende Faser des hinteren bogenförmigen Bündels diese Funktion der Absperrung besorgt.

Vermöge dieses Laufes der Fasern würden alle Eindrücke, welche auf die linke Seite beider Netzhäute treffen, nach der linken Seite des Gehirnes geleitet werden. Diess erklärte recht gut die Thatsache, dass sich an einer Gesichtsvorstellung gar Nichts ändert, gleichviel ob man das Objekt mit dem linken, mit dem rechten oder mit beiden Augen betrachtet. Auch würde hierbei die Vorstellung von links und rechts, sowie auch die von oben und unten, da das Gehirn in dieser Hinsicht ebenso affizirt würde, wie jedes Auge, mit den Affektionsstellen im Gehirne in Übereinstimmung stehen. Wenngleich nach unserer schon mehrfach ausgesprochenen Ansicht das Gehirn nur das Bewusstsein zu einer Empfindung liefert, die Empfindung selbst aber unmittelbar auf der Thätigkeit des direkt affizirten Organs beruht, wenngleich also das räumliche Verhältniss der Punkte eines

Objektes unmittelbar durch das Verhältniss bestimmt ist, in welchem die Elemente der Netzhaut durch die Lichtstrahlen affizirt werden, ohne dass es nöthig wäre, dass dieselben Verhältnisse sich in der Affektion des Gehirnes wiederspiegelten; so wird doch diese Gehirnaffektion in gewissen Grundzügen mit der Affektion des äusseren Organs in Harmonie stehen. So halte ich es unter Anderem für wahrscheinlich, dass die Vorstellung von Grundrichtungen, woraus der Gegensatz von links und rechts, von oben und unten entspringt, nicht unmittelbar in Thätigkeiten des Auges, sondern in Thätigkeiten des Gehirnes ihren Sitz hat, weil es sich dabei nicht um etwas unmittelbar Gegebenes, sondern um etwas Gedachtes, einen reinen Begriff handelt.

Wäre jeder Pol *i*, *k* durch eine Doppelfaser ausgezeichnet; so könnte Diess die vollständigere Affektion des Gehirnes in Folge der Reizung des polaren Netzhautelementes und demzufolge die Neigung zur Einstellung der Augenaxe bei der Fixirung eines Punktes erläutern. Denn durch eine solche Doppelfaser, wovon die eine dem gekreuzten und die andere dem bogenförmigen Bündel angehört, würde das Gehirn bei *l*, in der Mitte und symmetrisch, und zugleich von beiden Seiten her affizirt werden. Gleichwohl würde die Intensität dieser Affektion keine doppelte sein, weil diese Intensität ja lediglich durch den äusseren Reiz bei *i* oder bei *k* bedingt ist und es für die Gesammtthätigkeit der Nervenfasern gleichgültig ist, ob sich der hierdurch erzeugte Strom in einer einfachen oder in einer Doppelfaser fortpflanzt.

Wenn das hintere bogenförmige Bündel *gph* die ihm vorhin zugedachte Rolle spielen, also eine der beiden Fasern *ga*, *gc* im Chiasma absperren soll; so würde es nicht nöthig sein, dass eine Faser dieses Bündels zwei homologe Punkte des Gehirnes wie *g* und *h* miteinander verbände: ja es erschiene sogar zweckmässig, dass diese Fasern gar nicht von einer Hemisphäre zur anderen übergingen, oder wenigstens von dem Punkte *g* der linken Hemisphäre zu irgend einem Punkte der rechten Hemisphäre führten, welcher gar nicht im Bereiche der Sehnervenfasern läge. Nun scheinen aber dessenungeachtet die Fasern jenes Bündels wirklich von einer Hemisphäre des Gehirnes zur anderen hinüberzugehen und an homologen Stellen wie *g*, *h* zu endigen. In diesem Falle hat der rechte Zweig *hp* einer Faser *gph* zu den Sehnerven *hb*, *hf* dasselbe äussere Verhältniss wie der linke Zweig *gp* zu den Sehnerven *ga*, *gc*. Da nun aber ein Strom, welcher die Faser *gph* in der Richtung von *g* nach *h* durchläuft, gegen die Vorgänge in den Nerven *hb*, *hf* die entgegengesetzte Richtung hat, wie gegen die Nerven *ga*, *gc*; so sollte man glauben, dass er auf jene Vorgänge auch die entgegengesetzte Wirkung ausüben müsste. Nimmt man also an, dass der in der Faser *gph* von links nach rechts laufende Strom die Leitung in der Sehnervenfaser *ga* des linken Bündels öffnet und in der Faser *gc* des gekreuzten Bündels schliesst, also das linke Auge in Thätigkeit setzt; so wäre es rationell, folgende beiden Sätze ebenfalls anzunehmen. Erstens, dass der entgegengesetzt von rechts nach links laufende Strom *hpg* die Leitung in *gc* öffnet und in *ga* schliesst, also das rechte Auge in Thätigkeit

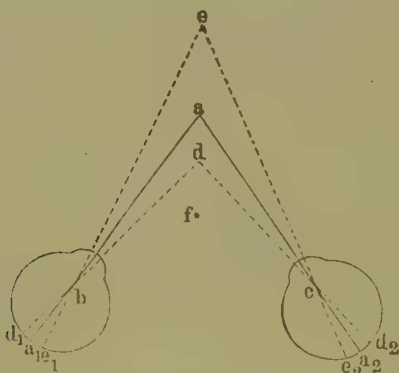
setzt. Zweitens, dass der erst gedachte von links nach rechts laufende Strom gph in der Faser hf die Leitung öffnet und in der Faser hb sie versperrt.

Der zweite dieser beiden Sätze würde das Gesetz enthalten, dass wenn in einem Auge irgend ein Nervenelement a thätig, also das korrespondirende Element e im zweiten Auge unthätig ist, in jenem ersten Auge auch gleichzeitig das Element f, welches auf der entgegengesetzten Seite des vertikalen Meridians in in gleichem Abstande liegt, zur Fortpflanzung eines Lichteindruckes befähigt, das korrespondirende Element b im zweiten Auge aber hierzu nicht befähigt ist.

Hiernach wären also gleichzeitg immer zwei gegen den vertikalen Meridian eines Auges gleich belegene Netzhautelemente a, f zur Leitung befähigt und die korrespondirenden beiden Elemente e, b des anderen Auges hierzu nicht befähigt.

Zur Prüfung dieses Schlusses dürfte folgendes Experiment geeignet sein. In Fig. 105 d, a, e seien drei genau in der Kopfaxe liegende Punkte von solcher Kleinheit oder Entfernung, dass das Bild irgend eines nur eine einzige Nervenfaser in Anspruch nimmt. Wenn die Augen den Punkt a fixiren, sodass die Bilder von a auf die Pole a_1, a_2 beider Augen fallen, wird der nähere Punkt d seine Bilder auf die nicht korrespondirenden Stellen d_1, d_2 werfen. Ist nun e ein entfernterer Punkt, welcher seine Bilder auf die ebenfalls nicht korrespondirenden Stellen e_1, e_2 wirft, und ist die Entfernung desselben von a so, dass die Abstände $a_1 e_1$ und $a_1 d_1$, sowie die Abstände $a_2 e_2$ und $a_2 d_2$ der Bilder der beiden Punkte e und d von dem vertikalen Meridiane in jedem Auge einander gleich sind; so würde man die beiden Punkte d und e gleichzeitig mit a nur dann sehen können, wenn der vorstehende Satz gilt. Denn jetzt sind d_1 und e_2, sowie e_1 und d_2 korrespondirende Netzhautstellen.

Fig. 105.



Angenommen nun, für den Punkt d sei die Faser d_1 des linken Auges leitungsfähig; so ist wegen des Gesetzes des Wettstreites momentan die Faser e_2 des rechten Auges nicht leitungsfähig: der Punkt e kann demnach vom rechten Auge nicht gesehen werden. Soll dieser Punkt also überhaupt sichtbar sein; so kann er es nur durch das linke Auge; es muss mithin die Faser e_1 leitungsfähig und demgemäss die korrespondirende Faser d_2 nicht leitungsfähig sein. Die gleichzeitige Sichtbarkeit der drei Punkte d, a, e erfordert also, wenn das Prinzip des Wettstreites gilt, dass zwei gegen den vertikalen Meridian eines Auges gleich gelegene Fasern d_1, e_1 oder d_2, e_2 gleichzeitig leitungsfähig oder gleichzeitig nicht leitungsfähig sind.

Ob solche drei Punkte wirklich gleichzeitig sichtbar sind, ist nicht ganz leicht zu beobachten, da es hierbei sehr darauf ankömmt, dass sie

genau in der Kopfaxe oder in der Mittellinie der beiden Augenaxen liegen, dass sie so klein sind, um nur je eine Nervenfaser zu affiziren, und dass sie die entsprechenden Abstände von dem fixirten Punkte *a* haben, damit man überzeugt sein kann, dass je zwei Bilder wie d_1, e_1 oder d_2, e_2 wirklich homologe einfache Nervenfasern treffen.

Bestätigt sich dieses Experiment; so ist damit neben dem Gesetze des Wettstreites zugleich das Gesetz der Thätigkeit homologer Netzhautstellen erwiesen. Umgekehrt würde, wenn sich jenes Experiment nicht bestätigte, das Gesetz der Thätigkeit homologer Netzhautstellen nicht existiren können, wohl aber das Gesetz des Wettstreites. Man würde dann aber zu dem Schlusse berechtigt sein, dass es nicht gerade ein Strom in der hinteren bogenförmigen Faser *gph* wäre, welcher in direkter Richtung die eine und in umgekehrter Richtung die andere der beiden Fasern *ga*, *ge* absperrte.

Ich bemerke noch, dass wenn soeben die beiden Punkte *d*, *e* vom linken Auge gesehen werden, nach einiger Zeit dieselben Punkte vielleicht vom rechten Auge gesehen werden und dass wenn *d* und *e* Körper sind, welche eine Ausdehnung normal zur Linie *de* haben, einige Punkte derselben immer gleichzeitig vom linken und einige vom rechten Auge gesehen werden, dass also von diesen Körpern immer Doppelbilder erscheinen werden, dass jedoch, wenn *d* und *e* Punkte wären, die Doppelbilder derselben nicht gleichzeitig, sondern nur nachundnach sichtbar sein könnten.

Das vordere bogenförmige Bündel hat vielleicht die Funktion, die Thätigkeiten der beiden Augen unter sich, namentlich in Beziehung auf Akkommodation in prompter Übereinstimmung zu erhalten, was desshalb nöthig sein könnte, weil von zwei korrespondirenden Netzhautelementen immer nur eins sieht, das Auge des momentan unthätigen Elementes also einer besonderen Anregung bedürftig sein möchte, um sich normal zu verhalten. Zu diesem Zwecke sollte man freilich meinen, dass durch eine Faser des vorderen bogenförmigen Bündels je zwei korrespondirende Netzhautelemente wie *a*, *e* oder *f*, *b* (Fig. 104), nicht aber zwei homologe Elemente wie *a*, *b* oder *f*, *e* zu verbinden wären. Übrigens wäre die letztere Verbindung homologer Elemente hierzu wohl geeignet, wenn das Gesetz der Thätigkeit homologer Netzhautstellen gilt. In diesem Falle bedürften sogar nur die homologen Elemente der inneren Netzhauthälften *ifn* und *keo* einer gemeinschaftlichen Verbindung durch bogenförmige Fasern *fqe*, wie es in der That der Fall zu sein scheint. Denn alsdann besteht zwischen zwei homologen Elementen *a*, *f* oder *e*, *b* der Netzhaut einunddesselben Auges immer ein Nervenkonnex, welcher im Stande sein könnte, vermittelst der Verbindung *fqe* zwischen irgend zwei homologen Elementen beider Augen die gleiche Stimmung zwischen je zwei korrespondirenden Elementen *a*, *e* oder *f*, *b* zu erhalten.

Möglicherweise könnte es aber auch die Aufgabe des henkelförmigen Bündels sein, diese Übereinstimmung der beiden Augen durch Vermittlung der vorderen bogenförmigen Fasern *fqc* herbeizuführen. Jenes henkelförmige Bündel legt sich, indem es obere und untere Punkte der Mittellinie *ml* des Gehirnes miteinander verbindet, vorzugsweise bei *q* auf

das vordere bogenförmige Bündel, wäre also zu einer solchen Funktion wohl geeignet. Ausserdem wäre es dann denkbar, dass die Affektionen des henkelförmigen Bündels die materielle Grundlage für die Verschmelzung der Empfindungen der gesonderten Stellungen der beiden Augenaxen oder für die Empfindung der Mittellinie der beiden Augenaxen, in deren Richtung uns nach §. 18 das fixirte Objekt zu liegen scheint, bildeten.

11. Isolirung und Vereinigung der Nervenfasern. Schliesslich bemerke ich noch, dass es noch nicht ausgemacht ist, dass jede an einem Stäbchen der Netzhaut entspringende Faser als selbstständige und isolirte Nervenleitung in dem Bündel des Sehnerven bis zum Gehirne geht oder ob sich dieselben auf dem Wege vom Auge nach dem Gehirne, vielleicht schon sehr nahe am Auge, gruppenweise zu gemeinschaftlichen Nervenstämmen vereinigen. Die Anzahl jener Primitivfasern würde viele Millionen betragen (§. 5 No. 7). Ebenso wenig ist festgestellt, ob sich im Chiasma und im Laufe des Zuges der beiden Sehnerven diese Primitivfasern, welche von den einzelnen Stäbchen stammen, aus den in Betracht kommenden Bündeln sämmtlich gegenseitig berühren, noch nicht einmal, ob Diess mit den stärkeren Fasernstämmen der Fall ist, oder ob die Berührung nicht theilweise eine mittelbare, d. h. eine durch die Körper der Nachbarfasern vermittelte ist.

Ich halte weder die Isolirung jeder einzelnen Primitivfaser vom Stäbchen bis zum Gehirne, noch die unmittelbare Berührung derselben in den zum Chiasma verbundenen Bündeln für ein Erforderniss, und glaube demnach auch nicht, dass sie stattfindet. Denn was zunächst die Isolirung betrifft; so erscheint das eigentliche Nervensystem, wie schon in §. 9 No. 3 erwähnt, als eine Verlängerung oder Erweiterung des Gehirnes; was man also hinsichtlich der organischen Reaktion auf äussere Reize dem Gehirne zutraut, kann man auch den Ausläufern des Gehirnes, da sie integrirende Theile desselben sind, also den Spitzen des Nervengeflechtes zutrauen, gleichviel ob jede dieser Spitzen mittelst einer Nervenfaser bis zu der grossen Zentralmasse im Kopfe und Rückgrate hinaufreicht oder sich schon früher mit mehreren ähnlichen Fasern vereinigt. Die Empfindung des äusseren Reizes kann demnach als unabhängig von dem späteren Verlaufe der Primitivfasern, welche auf jenen Reiz reagiren, gedacht werden. Die wesentliche Rolle, welche wir dem Zentralgehirne zuschreiben und welche lediglich in dem Bewusstwerden der äusseren Empfindung besteht, wird das Gehirn immer spielen können, auch wenn die Primitivfasern nicht isolirt in dasselbe eintreten. Irgendwo muss ja diese Isolirung immer aufhören, indem schliesslich eine Vereinigung sämmtlicher Fasern nicht bloss unvermeidlich, sondern auch wegen des Eintrittes in das einheitliche Selbstbewusstsein prinzipiell nothwendig ist. Unter solchen Umständen muss aber eine frühere partielle Vereinigung mehrerer solcher Fasern als etwas Ausserwesentliches erscheinen.

Wer die Isolirung aller Fasern bis zum Gehirne als ein Grundprinzip des Organismus fordert, muss die ganze Thätigkeit, auf welcher die Empfindung und das Bewusstsein beruht, ins Gehirn verlegen,

und kann der Anordnung der äusseren Spitzen des Nervensystems keine Bedeutung in Beziehung auf den Inhalt der geistigen Vorstellung zuschreiben: er muss annehmen, dass die geistige Vorstellung ebenso zu Stande kömmt, wie sie zu Stande kömmt, wenn nur das Gehirn ebenso an den Eintrittspunkten der Nervenfasern affizirt würde, gleichviel welche Lage die peripherischen Endpunkte des Nervensystems, welche den äusseren Reiz nach dem Gehirne tragen, einnehmen. Damit aber die Affektion des Gehirnes auf diese Weise eine der Aussenwelt kongruente Vorstellung liefern könne, müssten die Eintrittstellen der Nerven in das Gehirn offenbar in einer Weise räumlich arrangirt sein, welche nach ihren äusseren geometrischen Verhältnissen eine solche Übereinstimmung ermöglichte. Da nun der Reiz der äusseren Objekte nicht das Gehirn unmittelbar, sondern die peripherischen Enden des Nervengeflechtes trifft und demzufolge zwischen dem äusseren Objekte und den peripherischen Affektionsstellen eine natürliche Übereinstimmung stattfindet; so müsste, damit dieselbe Übereinstimmung auch für die Affektionsstellen des Gehirnes obwaltete, das Nervengeflecht am Gehirne so endigen, dass die Eintrittsstellen eine den peripherischen Spitzen nach gewissen Gesetzen kongruent zu nennende Figur bildeten. Das Netzhautbild müsste sein Faksimile im Gehirne haben.

Was von den Sehnerven gilt, müsste prinzipiell von allen übrigen Nerven gelten. Die Tast- und Empfindungsnerven für Druck und Wärme, welche fast alle Punkte des Organismus erreichen, machten es so nothwendig, dass sich im Gehirne durch die Eintrittspunkte der Nerven das Ebenbild des Menschen in genauester Harmonie mit dem Organismus darstellte.

Derartiges findet nicht allein faktisch nicht statt, und eine solche mathematisch scharfe Wiederholung einer organischen Figur, welche ich schon früher ein unnatürliches Kunststück genannt habe, wäre nicht bloss im höchsten Grade unwahrscheinlich, sondern die ganze Annahme erscheint, selbst wenn sie ausführbar wäre, als absurd. Denn wenn wir leugnen, dass die peripherischen Enden des Nervensystems nicht die Fähigkeit besitzen, auf die Aussenwelt in der die geistige Vorstellung vollständig bedingenden Weise zu reagiren; so würde nicht abzusehen sein, wie die zentralen Enden desselben Nervensystems diese Befähigung erlangen sollten. Wir sehen uns also wiederholt zu der Ansicht geführt, dass die äussere Empfindung oder der Inhalt der geistigen Vorstellung durch die Affektion der peripherischen Nervenenden zu Stande kömmt und dass der Gehirnprozess nur das Bewusstsein von dieser Vorstellung erweckt.

Die vorstehende Anschauung möchte zu dem Schlusse führen, dass eine faserartige Isolirung in dem Nervengeflechte überhaupt nicht erforderlich wäre, dass vielmehr jede peripherische Spitze sofort wie eine Ader in einen gemeinschaftlichen, den Ausläufer des Gehirnes darstellenden Nervenkanal einmünden könnte. Dieser Schluss würde unzweifelhaft richtig sein, wenn es sich bei der organischen Thätigkeit um Nichts weiter handelte, als um den äusseren Eindruck zum Bewusstsein zu bringen. Es handelt sich aber um mehr, insbesondere um die Ver-

flechtung eines solchen Eindruckes mit allen übrigen spezifischen Thätigkeiten des Organismus: die Gesichtsvorstellung eines äusseren Objektes muss Gedanken erzeugen, muss das Gemüth erregen und in vielfacher anderen Weise in das organische Leben eingreifen. Da nun das Gehirn der Zentralapparat ist, in welchem sich die verschiedenartigen Thätigkeiten beeinflussen; so ist es nothwendig, dass dieselben gesondert eintreten, dass also Gesichts-, Gehör-, Tast- und andere Nerven getrennt zum Gehirne gelangen und daselbst durch einen besonderen Apparat mit dem übrigen Gehirnmechanismus in organische Verbindung gesetzt werden: ebenso nothwendig ist es aber auch, dass bei den gleichartigen Nerventhätigkeiten eine Sonderung der Affektionen in Beziehung auf die Theile des Gesammteindruckes stattfinde, da in jedem Ganzen die Theile eine in gewissem Grade selbstständige Rolle spielen. Im Allgemeinen ist daher eine Isolirung der Fasern in jedem Nervenbündel zur vollkommneren Einflechtung des äusseren Eindruckes in das organische System nothwendig und die frühzeitige Vereinigung mehrerer Primitivfasern zu einem einzigen Faden bewirkt, dass zwar die jeder Primitivfaser entsprechenden Eindrücke empfunden und zum Bewusstsein geführt werden können, dass aber hinsichtlich der Verflechtung und induktorischen Einwirkung jenes Eindruckes mit den übrigen organischen Thätigkeiten nicht der höchste Grad von Vollkommenheit erreicht werden kann, indem hinsichtlich dieser Verbindungen alle den vereinigten Primitivfasern entsprechenden Eindrücke wie ein gemeinschaftlicher Gesammteindruck wirken.

Dass unsere Auffassung auch die Reproduktion empfangener Eindrücke ohne äussere Einwirkung, lediglich auf Anregung des Gehirnes nicht ausschliesst, leuchtet ein. Denn wenn auch die Konfiguration der Eintrittsstellen der Nerven am Gehirne gar keine Ähnlichkeit mit der Lagerung der peripherischen Empfindungsstellen hat; so entspricht doch immer einer jeden elementaren Empfindung ein nach Ort und Art völlig bestimmter Nervenprozess, welcher bei der peripherischen Nervenspitze beginnt und im Gehirne endigt. Indem die Gehirnthätigkeit einen solchen Prozess vom Gehirne aus einleitet, entsteht die nämliche Wirkung, wie sie der äussere Reiz hervorrief, also eine Reproduktion, eine Erinnerung, eine Phantasievorstellung, welche bald durch den Willen, bald durch unfreiwillige Prozesse, wie im Traume, durch die vegetative Thätigkeit, durch Blutaffektionen und auf andere Weise erzeugt wird.

Je vollkommener dieser subjektiv hervorgerufene Prozess dem objektiv hervorgerufenen entspricht, desto besser stimmt die Phantasievorstellung mit einer auf Realität oder objektiver Reizung beruhenden überein. In einem normalen Körper ist die äussere Möglichkeit zu einer vollkommenen Reproduktion gegeben: in einem abnormen oder verstümmelten Körper nicht. Ein Mensch, welchem das Bein amputirt ist, kann Schmerzen im Fusse empfinden, und ein Mensch, welcher die Augen verloren hat, kann sich Objekte sichtbarlich vorstellen, weil immer noch ein Empfindungsorgan und ein Visorium im Gehirne mit den Ausläufern der Empfindungs- und Sehnerven vorhanden ist. Allein ungenau muss doch jene

Empfindung oder Gesichtsvorstellung wegen der fehlenden peripherischen Nervenenden sein, und wenn im normalen Körper nicht jede peripherische Nervenspitze eine isolirte Leitung nach dem Gehirne hat, wenn ich vielmehr die Spitzen für eine gewisse äussere Sphäre der Haut oder ler Netzhaut bald zu einer gemeinschaftlichen Faser vereinigen, so st es für jenen verstümmelten Menschen, wenn diese peripherischen pitzenbüschel vernichtet sind, unmöglich, durch Reproduktion mpfindungen innerhalb einer solchen Sphäre voneinander zu untercheiden.

Ebenso wenig wie hiernach eine isolirte Leitung von jeder peripheischen Nervenspitze bis zum Gehirne als ein Bedürfniss erscheint, ebenso venig halte ich die gegenseitige Berührung aller Primitivfasern im hiasma für unbedingt nothwendig. Die Verzweigungen im allgemeien Nervengeflechte lehren, dass wenn eine Nervenfaser sich mit einem ervenbündel vereinigt, die Thätigkeiten jener Faser und dieses ganzen ündels in ein gewisses Abhängigkeitsverhältniss gebracht werden. Die nduktion ist sicherlich für die sich unmittelbar berührenden Fasern m stärksten und nimmt für die nur mittelbar berührten Fasern umso ehr ab, je grösser der Abstand ist: allein man sieht, dass die mittelbare erührung kein absolutes Hinderniss für die induktorische Einirkung ist.

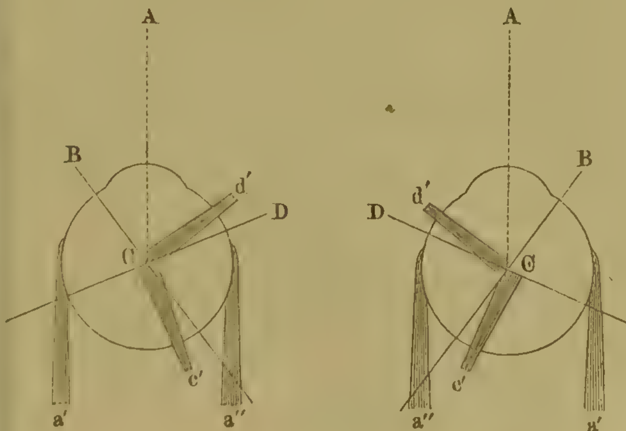
Demgemäss kann man annehmen, dass zwei Fasern z. B. aus dem orderen bogenförmigen Bündel und dem gekreuzten Bündel umso besser re Induktionswirkung aufeinander ausüben, je näher sie sich liegen, dass ber trotz der nicht allenthalben stattfindenden unmittelbaren Berührung ie gegenseitige Beeinflussung nicht ganz aufhört.

§. 14.

Der äussere Bewegungsapparat der Augen.

1. Die Augenmuskeln. Der äussere Bewegungsapparat der Augen ist ebenso wichtig als interessant. Derselbe besteht für jedes Auge aus drei Muskelpaaren, von welchen jedes Paar, wie z. B. a' und a'' in Fig. 106, an den Enden eines durch den Mittelpunkt C des Auges gehenden Durchmessers tangential zum Augapfel angeheftet und demnach im Stande

Fig. 106.



ist, den Augapfel um eine Axe zu drehen, welche durch diesen Mittelpunkt C geht und auf der Ebene der Muskelrichtungen a' und a'' normal steht.

Der Punkt C, der sogenannte Drehpunkt des Auges, ist für alle drei Muskelpaare derselbe und liegt fast genau in der Mitte der von der Hornhaut durch das Auge gehenden Axe, also etwa 12 Mm. hinter dem Pole der Hornhaut. Der Kreuzungspunkt der Axen der in das Auge tretenden Lichtkegel liegt etwa 4,5 Mm. vor dem Drehpunkte a.

Was die drei Drehungsaxen betrifft; so steht diejenige Axe, um welche die beiden Muskeln a', a'' das Auge drehen, vertikal. Diese beiden Muskeln heissen der äussere und der innere gerade Augenmuskel (*musculus rectus externus et internus*).

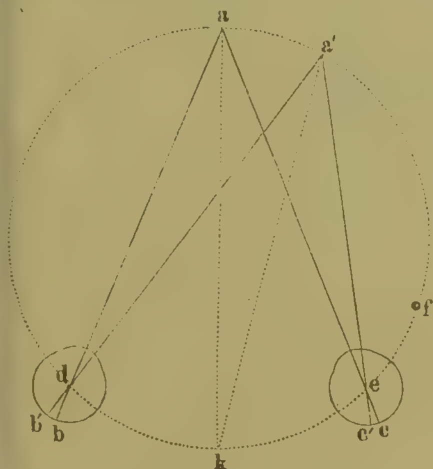
Die anderen beiden Drehungsaxen liegen in der durch den Drehpunkt gehenden Horizontalebene: ihre Muskeln fassen also den Augapfel in den Punkten an, wo die vertikale Drehungsaxe aus demselben heraustritt. Jene Axen DC und BC kreuzen sich unter einem Winkel DCB von 103 Grad und zwar schliesst die erstere DC mit der Augenaxe CA einen Winkel ACD von 67 und die letztere BC einen Winkel ACB von 36 Grad ein. Die Drehung um die Axe DC erfolgt durch zwei Muskeln, wovon nur der obere c' dargestellt ist: dieselben heissen der obere und untere gerade Augenmuskel (*musculus rectus superior et inferior*). Die Drehung um die Axe BC geschieht durch zwei Muskeln, wovon ebenfalls nur der obere d' dargestellt ist: dieselben heissen der obere und untere schiefe Augenmuskel (*musculus obliquus superior et inferior*).

2. Zweck der drei Drehungsaxen. — Funktionen der einzelnen Muskeln. Zunächst drängt sich die Frage nach dem Zwecke von drei Drehungsaxen mit drei Muskelpaaren auf. Zwei Drehungsaxen mit zwei Muskelpaaren würden offenbar vollkommen genügen, um die Augenaxe in jede Richtung des Raumes zu führen. Gegen diese Behauptung könnte man zwar einwenden, dass wenn sich auch die Axe des Auges durch die Drehung um zwei Axen in jede beliebige Richtung bringen liesse, doch nicht der ganze Augapfel hierdurch in jede beliebige Lage gebracht werden könnte. Allein man muss hierauf erwiedern, dass es auch gar kein Bedürfniss ist, den Augapfel in jede beliebige Lage zu bringen: trotz der vorhandenen drei Drehungsaxen bleibt doch bei jeder Bewegung des Auges Das was am Augapfel oben ist, stets oben, was rechts ist, stets rechts u. s. w. Faktisch verlangt und will die Natur also gar keine allgemeine Beweglichkeit des Auges, sondern nur eine solche, welche durch zwei Axen, nämlich durch eine vertikale und eine mit der Verbindungslinie CC der beiden Augen parallele horizontale sehr wohl zu bewerkstelligen wäre.

Ehe wir weitergehen, heben wir nochmals hervor, dass jede faktische Bewegung eines Auges in geometrischem Sinne gleich zu achten ist einer Drehung um eine vertikale Axe und einer Drehung um eine horizontale Axe, welche letztere der Verbindungslinie CC parallel ist. Diese beiden fingirten Drehungsaxen liegen also beim Ruhezustande in der auf der Augenaxe CA normal stehenden Vertikalebene. Hiernach kann aus der Bewegung des Auges niemals als Resultat eine

Drehung um eine Axe hervorgehen, welche sich gegen die eben genannte Vertikalebene neigt oder ausserhalb derselben liegt, also z. B. niemals eine eigentliche Rotation um die Augenaxe *CA*. Die Augen bewegen sich, wie sich zwei Kugeln bewegen würden, durch welche zwei kantige (die Rotation um ihre Axen verhindernde) Stangen *adb* und *aec* (Fig. 107) lose gesteckt sind. Die Stangen ruhen in den Mittelpunkten der Kugeln auf Stützpunkten, auf welchen sie sich beliebig drehen können und durchkreuzen sich stets in irgend einem Punkte *a*. Indem man diesen Kreuzungspunkt *a* in jeden beliebigen Punkt des Raumes führt, stellt man alle möglichen Bewegungen der Augen dar. Bei divergirenden Augen fällt der Kreuzungspunkt *a* hinter die Augen. Es ist klar, dass die Meridianebenen *ad* und *ae*, welche im Zustande der Ruhe und bei dem geradeaus gerichteten Blicke vertikal stehen, nicht vertikal bleiben, wenn der Konvergenzpunkt *a* aus der Horizontalebene *ade* heraustritt, indem sich das Dreieck *ade* um die horizontale Verbindungslinie der Augen wälzt.

Fig. 107.



Nach Vorstehendem müssen die drei Muskelpaare mit ihren drei Drehungsaxen einen ganz besonderen, nicht bloss in der allgemeinen Möglichkeit der Dirigirung der Augenaxen liegenden Zweck haben.

Da mit einem bestimmten Konvergenzwinkel *dae* (Fig. 107) der Augenaxen bei dem geradeaus gerichteten Blicke eine ganz bestimmte Sehweite, also auch eine ganz bestimmte Akkommodation verbunden ist, und da ferner bei dem seitwärts gerichteten Blicke der Konvergenzwinkel *da'e* und der mittlere seitliche Ablenkungswinkel *aka'* zusammen ebenfalls die durchschnittliche Sehweite *ka'*, also die Akkommodation bedingen, während die Sehweite und die Akkommodation nicht durch eine Drehung des Dreiecks *da'e* um die horizontale Linie *de* oder um die horizontale Verbindungslinie der Drehpunkte beider Augen) beeinflusst werden, da mithin die Akkommodation in einer direkten Beziehung zu den Drehungen um die vertikale Axe steht, mit den Drehungen um die horizontale Axe aber gar keinen Zusammenhang hat; so erscheint es sehr natürlich, dass in dem Auge zunächst eine vertikale Drehungsaxe gestiftet und dass dieselbe lediglich auf denjenigen Dienst angewiesen ist, welcher mit der Akkommodation auf die Sehweite in direkter Verbindung steht, dass aber alle übrigen Bewegungen des Auges auf andere Muskeln angewiesen sind.

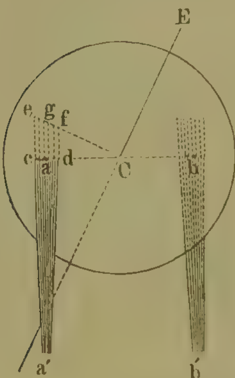
Ich nehme daher an, dass die inneren und äusseren geraden Muskeln allein die Seitenbewegungen der Augen, sowohl die einseitigen oder Konvergenzbewegungen, als auch die gemeinschaftlichen zu verrichten haben, dass dagegen die oberen und un-

teren geraden und schiefen Muskeln für die vertikalen oder aufundniedergehenden Bewegungen bestimmt sind.

Zu letzterem Zwecke, wenn nämlich der Dienst des ersteren Muskelpaares oder die Drehung um eine vertikale Axe ganz und gar nicht für die aufundniedergehende Bewegung mit in Anspruch genommen werden, sondern nur für die Seitenbewegungen reservirt bleiben soll, bedurfte es nun allerdings zwei besonderer horizontalen Drehaxen mit zwei selbstständigen Muskelpaaren.

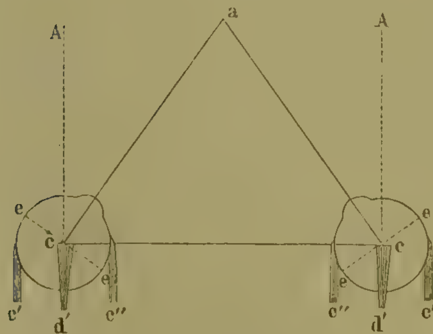
Um Diess deutlich einzusehen, beachte man, dass ein Bewegungsmuskel $a'a$ (Fig. 108) keine mathematische Linie sein und auch den Augapfel nicht in einem mathematischen Punkte a angreifen kann. Theils muss derselbe wie jedes organische Gebilde eine gewisse Breite cd haben, theils müssen seine Anheftepunkte noch eine namhafte Strecke bis ef über den Endpunkt a des Durchmessers ab hinaus reichen, damit es möglich ist, die Kugel vermittelst des bei a' an einem unbeweglichen Knochen befestigten Muskels allmählich um einen ziemlich bedeutenden Winkel aCg zu drehen. Die Anheftepunkte eines Muskels am Augapfel nehmen also eine ziemlich geräumige Fläche $cdfe$ ein. Hiernach leuchtet ein, dass der Durchmesser ab, durch dessen Endpunkte die Resultante der Zugkräfte der Muskeln $a'a$ und $b'b$ im Ruhezustande des Auges geht, jedenfalls eine andere Lage im absoluten Raume erhält, sobald das Auge vorher um irgend eine von der Axe CE verschiedene Axe gedreht wird, weil hierdurch die Fläche $cdfe$ der Anheftepunkte am Augapfel eine andere Lage gegen den festen Knochenpunkt a' erhält, auch eine gewisse Torsion erleidet.

Fig. 108.



Wäre also im Auge ausser der vertikalen Drehungsaxe c (Fig. 109), um welche die inneren und äusseren geraden Muskeln c', c'' die Drehung bewirken, nur noch eine einzige horizontale Drehungsaxe cc vermittelst eines oberen und unteren geraden Muskelpaares d' eingerichtet; so würde damit das Dreieck cca nur dann um die Axe cc gedrehet werden können, wenn die Muskeln d' wie mathematische Linien mit einem einzigen Angriffspunkte anzusehen wären, sodass die Drehung um die vertikale Axe um den Winkel Aca keine Veränderung der horizontalen Drehungsaxe im absoluten Raume zur Folge hätte. Da Letzteres jedoch nicht der Fall ist, da sich also in Folge der Drehung um die vertikale Axe die horizontale Axe verrückt und eine in jedem Auge verschiedene Richtung wie ee annimmt, so kann nun die Thätigkeit der Muskeln d' nicht mehr eine ge-

Fig. 109.

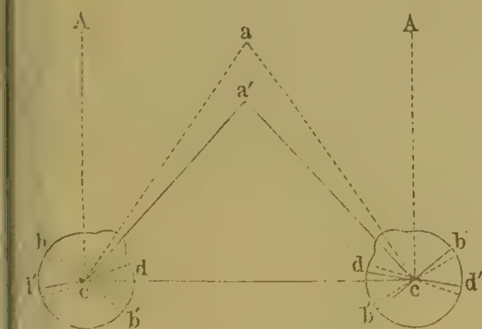


neinschaftliche Rotation um die Axe *cc*, sondern nur gesonderte Rotationen um die konvergirenden Axen *ee* und *ee* hervorbringen, womit eine Veränderung des Konvergenzwinkels *cac* der Augenaxen und eine Veränderung der Sehweite, d. h. eine Drehung um die vertikale Axe *c* verbunden, also der beabsichtigte Zweck in keiner Weise erreicht ist. Dieser Zweck besteht in einer Umwälzung des Dreiecks *acc* um die Linie *cc* ohne irgend eine Änderung seiner Winkel oder Seiten, nicht aber in einer Umwälzung jeder Seite *ca* um die Axe *ee*. Derselbe kann nur dadurch erreicht werden, dass mittelst eines zweiten Muskelpaares eine zweite horizontale Drehungsaxe gestiftet wird. Diese beiden Muskelpaare, von welchen jedes eine Drehung um eine andere horizontale Axe bewirkt, können alsdann stets so funktioniren, dass das Resultat eine Rotation beider Augen oder des Dreiecks *acc* um die Verbindungslinie *cc* ist, wie sehr jene beiden horizontalen Axen auch durch die ursprüngliche Drehung um die vertikale Axe (behuf Herstellung des Dreiecks *acc*) aus ihrer anfänglichen Lage verrückt sein mögen.

Sowie die Lagen der horizontalen Axen *CB*, *CD* in Fig. 106 durch die Drehung um die vertikale Axe *C* beeinflusst werden, ebenso wird auch die Lage der vertikalen Axe durch die Drehungen um die horizontalen Axen etwas gestört. Durch das Vorhandensein von zwei horizontalen Drehungsaxen kann aber die Störung der vertikalen Axe in der Weise wieder ausgeglichen werden, dass die Anstrengungen der inneren und äusseren Muskeln, auf welchen die Drehung um die vertikale Axe beruht, dieselben sind, wie sie dem Winkel *Aca* in Fig. 109 bei ungestörter vertikaler Axe entsprechen.

3. Funktionen der einzelnen Muskeln. Um die Drehungen zu bestimmen, welche bei irgend einer Stellung der Augen vorkommen; so sei die Augenaxe *cA* (Fig. 110) des linken Auges durch Anspannung des inneren geraden Muskels um den Winkel *Aca* um die vertikale Axe von links nach rechts in die Stellung *ca* gedreht. Soll jetzt das Dreieck *acc* durch Umwälzung um die Linie *cc* nach oben in die Lage *a'cc* gebracht werden; so seien *cb*, *cd* die Richtungen, in welche vermöge der Drehung um die vertikale Axe die in Fig. 106 mit *CB*, *CD* bezeichneten Axen gekommen sind. Der Neigungswinkel der Ebene *a'cd* gegen die horizontale Grundebene *AccA* ist nun der gesuchte Winkel der Drehung um die Axe *cd*, und der Neigungswinkel der Ebene *a'cb* gegen dieselbe Grundebene ist der gesuchte Winkel der Drehung um die Axe *cb*. Behuf der ersteren Drehung muss der obere gerade Muskel und behuf der letzteren Drehung der untere schiefe Muskel angestrengt werden.

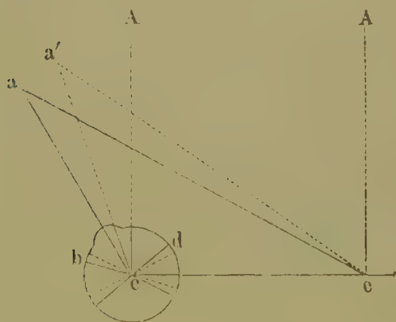
Fig. 110.



Soll das Dreieck *acc* nach unten um die Linie *cc* gedreht werden; so nehmen die Drehungen um die Axen *cd* und *cb* entgegengesetzte Richtungen an: es muss daher der untere gerade und der obere schiefe Muskel in Thätigkeit gesetzt werden. Die Muskeln vermögen nämlich nur Zugkräfte (durch Kontraktion), keine Schubkräfte (durch Expansion) zu erzeugen: von jedem Muskelpaare ist daher behuf der Drehung um die betreffende Axe nur ein Muskel thätig, während der andere, indem er ausgedehnt wird, erschlafft und so der Drehung keinen Widerstand entgegensetzt oder die Wirkung des ersteren nicht hindert.

Wäre die Augenaxe *cA* des linken Auges (Fig. 111) durch Anspannung des äusseren geraden Muskels von rechts nach links in die Stellung *ca* gedreht; so würde, um das Dreieck *acc* nach oben in die Stellung *a'cc* zu drehen, ebenfalls der obere gerade und der untere schiefe Muskel in Anspruch genommen werden, während behuf Drehung jenes Dreieckes nach unten der untere gerade und der obere schiefe Muskel in Thätigkeit treten müsste.

Fig. 111.



Hiernach funktioniren bei der Konvergenz der Augen an beiden Augen die inneren geraden Muskeln, bei der Seitenbewegung an dem einen Auge der innere und an dem anderen Auge der äussere gerade Muskel, bei der Bewegung nach oben an beiden Augen der obere gerade und der untere schiefe Muskel und bei der Bewegung nach unten an beiden Augen der untere gerade und der obere schiefe Muskel.

Für jede Hauptbewegung des Auges wird also eine besondere Muskelkombination in Thätigkeit gesetzt und Diess befähigt uns, sowohl die Konvergenz, wie auch das Rechts und Links und das Oben und Unten durch die Inanspruchnahme besonderer Muskelkombinationen zu unterscheiden. Vervollständigt wird das Gefühl für die Richtung, welche die Augenaxe oder bei dem Gebrauche beider Augen die Mittellinie des Dreiecks *a'cc* gegen die Kopfaxe einnimmt, durch die Kräfte, womit die einzelnen Muskeln in Wirksamkeit treten.

Ehe wir uns mit der mathematischen Bestimmung dieser Kräfte beschäftigen, machen wir noch hinsichtlich der eben erwähnten Muskelkombinationen folgende Bemerkungen.

Durch jeden der bei einer solchen Kombination in Thätigkeit gesetzten Muskeln wird das Auge an einem anderen Punkte ergriffen: niemals wirken zwei Muskeln zusammen, welche das Auge an demselben Punkte anfassen, also niemals ein oberer gerader mit einem oberen schiefen Muskel: von diesen beiden ist vielmehr stets der eine gespannt und der andere erschlafft.

Bei der Erzeugung des Konvergenzwinkels *cac* (Fig. 110) und der Seitenbewegung, also der Winkel *Aca* ist die Mitwirkung der

oberen und unteren geraden und schiefen Muskeln nicht allein unnöthig, sondern sogar unmöglich: diese Bewegungen können nur durch die inneren und äusseren geraden Muskel erzeugt werden.

Allerdings würde, wenn man die horizontale Linie *ca* erst um die Axe *cd* aufwärts und alsdann um die Axe *cb* so weit abwärts drehete, dass die Linie *ca* wiederum in die Horizontalebene *acc* fiele, eine Seitenabweichung der Linie *ca* von der ursprünglichen Lage in der Ebene *acc*, also eine Drehung um die vertikale Axe erzielt sein, allein dessenungeachtet kann dieser Zustand nicht durch die oberen und unteren Muskeln erzeugt werden. Denn sein Resultat ist immer eine Drehung null sowohl um die Axe *cd*, also auch um die Axe *cb*. Die erste Drehung um die Axe *cd* schliesst nämlich schon eine Drehung um die Axe *cb* in sich; ebenso ist die zweite Drehung um die Axe *cb* zugleich eine Drehung um die Axe *cd*, und zwar hebt diese zweite Drehung um die Axe *cb* die in der ersten Drehung enthaltene Drehung um dieselbe Axe *cd* und *cb* vollständig wieder auf. Das Ergebniss ist also, wie schon bemerkt, weder eine Drehung um die eine, noch um die andere dieser Axen: die neue Lage der Linie *ca* kann nicht durch die Thätigkeit der oberen und unteren Muskeln herbeigeführt oder erhalten werden; diese Muskeln bleiben nothwendig beide schlaff. Nur die inneren und äusseren Muskeln vermögen Seitenbewegungen zu erzeugen.

Ebenso leuchtet ein, dass die inneren und äusseren Muskeln nicht bei der Hebung und Senkung des Auges in Anspruch genommen werden können, da eine Umwälzung des Dreiecks *acc* um die horizontale Linie *cc*, welche zugleich die Angriffspunkte der inneren und äusseren Muskeln enthält, keine Spannung in diesen Muskeln erzeugen kann, wenn man von derjenigen Spannung absieht, welche mit der Rotation der Anheftestellen verbunden ist, eine Spannung, welche an sich unwesentlich, ausserdem nicht einseitig, sondern beiderseitig ist (am inneren und am äusseren Muskel zugleich stattfindet) und sich hierdurch von der in Rede stehenden Kontraktilität der Muskeln wesentlich unterscheidet.

Ein experimenteller Beweis des vorstehenden Ergebnisses dürfte, wenn man auch Vivisektionen hierzu vermeiden wollte, da dieselben täglich mehr und mit Recht aus Menschlichkeitsrücksichten verdammt werden, bei den chirurgischen Operationen schielender Augen zu gewinnen sein. Dieser Beweis würde erbracht sein, wenn es sich zeigte, dass das Auge nach der Durchschneidung eines inneren geraden Muskels unfähig wird, Konvergenz- und Seitenbewegungen nach innen zu machen, dagegen fähig bleibt, sich zu heben und zu senken, ferner, wenn das Auge nach der Durchschneidung des oberen geraden oder des unteren schiefen Muskels unfähig wird, sich zu heben oder nach der Durchschneidung des unteren geraden oder des oberen schiefen Muskels unfähig wird, sich zu senken, dagegen in beiden Fällen fähig bleibt, Konvergenz- und Seitenbewegungen auszuführen.

Zeigte das Auge trotz der Durchschneidung eines der eben genannten Muskeln, z. B. des inneren geraden Muskels noch in schwachem Grade die Fähigkeit, sich nach innen zu bewegen oder von einer Drehung nach aussen wieder zurückzukehren; so würde hieraus folgen,

dass ein Muskel, nämlich in diesem Falle der äussere gerade, im Stande wäre, bei der Expansion eine gewisse, vielleicht nur geringe, aber für die Drehung des Auges doch hinreichende Schubkraft zu entwickeln. Unter solchen Umständen, deren Existenz ich zwar für sehr unwahrscheinlich halte, über welche jedoch auf vorstehendem experimentellen Wege leicht entschieden werden könnte, würden unsere vorstehenden und nachfolgenden Betrachtungen über die Thätigkeit der einzelnen Muskeln und die dabei aufzuwendenden Kräfte unverändert fortbestehen, wenn man statt jedes einzelnen Muskels das zugehörige Muskelpaar und statt der Zugkraft jenes einzelnen Muskels die Resultante der Zug- und Schubkräfte dieses Muskelpaares, also in Bezug auf die Drehung die Summe der Zugkraft des einen und der Schubkraft des anderen an die Stelle setzt. Der zuletzt erwähnte experimentelle Beweis über die Funktionen der verschiedenen Muskelpaare würde alsdann die Durchschneidung beider zu dem betreffenden Paare gehörigen Muskeln erfordern.

4. **Anstrengungen der einzelnen Muskeln.** Gehen wir jetzt zur Bestimmung der Kräfte über, welche die einzelnen Muskeln, resp. Muskelpaare bei den verschiedenen Bewegungen des Auges aufzuwenden haben.

Bei nicht zu grossen Drehungen ist die Kraft, welche einen am Umfange einer Kugel tangential wirkenden Muskel verkürzt, der Verkürzung, also auch dem Drehungswinkel der Kugel um die betreffende Axe proportional. Diese Proportionalität, welche ein Ausfluss des Elastizitätsgesetzes ist, findet umso genauer statt, je kleiner der Drehungswinkel ist: aber selbst bei grossen Drehungswinkeln kann diese Proportionalität dadurch aufrecht erhalten werden, dass die Muskellänge von der Kugel bis zu dem festen Anheftepunkte an dem Knochengerüste des Kopfes gross genug gemacht wird. Die verhältnissmässig grosse Länge der Augenmuskeln ist daher nicht ohne Bedeutung für die richtige Abschätzung der Richtungen im Raume. Gleichwohl ist diese Schätzung bei relativ geringen Abweichungen der Augenaxen von der Richtung cA am genauesten, weil die hierbei vorkommenden Muskelkontraktionen so gering sind, dass sich das Gesetz der Proportionalität zwischen den Muskelkräften und Drehungswinkeln realisirt: je grösser die Abweichung, desto ungenauer die Schätzung.

Bezeichnet man unter der Voraussetzung der genauen Realisirung dieser Proportionalität den Konvergenzwinkel cac der beiden Augenaxen mit α (Fig. 110), den Ablenkungswinkel Aca der linken Augenaxe von der horizontalen Normalrichtung Ac mit β' und den entsprechenden Winkel für das rechte Auge mit β''; so stellt β', β'' die Anstrengung des inneren geraden Muskels resp. am linken und am rechten Auge dar, solange die betreffende Grösse positiv oder die zugehörige Augenaxe nach innen gerichtet ist. Sobald eine Augenaxe sich nach aussen richtet, wird das betreffende β negativ und stellt alsdann die Anstrengung des zugehörigen äusseren geraden Muskels dar.

Der Konvergenzwinkel α ist stets $= \beta' + \beta''$, gleichviel ob

diese Grössen beide positiv sind oder ob eine negativ ist. Demnach ist die Summe der Anstrengungen der beiden inneren geraden Muskeln oder bei stark seitwärts gerichteten Blicken die Differenz der Anstrengungen des einen inneren und des anderen äusseren geraden Muskels das Maass für den Konvergenzwinkel der beiden Augenaxen.

Bezeichnet man ferner mit γ_1 den Winkel $Acd = 67^0$ und mit γ_2 den Winkel $Acb = 36^0$, unter welchem sich die beiden horizontalen Drehungsaxen gegen die Normale cA neigen, ausserdem mit δ den Neigungswinkel des Dreiecks $a'cc$ gegen die Ebene Acc, also die Drehung des Dreiecks acc um die Horizontale cc, endlich für das linke Auge mit ε_1 die Drehung um die Axe cd und mit ε_2 die Drehung um die Axe cb (also resp. den Neigungswinkel der Ebene $a'cd$ und der Ebene $a'cb$ gegen die Horizontalebene $AccA$); so ergiebt sich

$$tang\,\varepsilon_1 = \frac{sin\,\delta\,cos\,\beta'}{sin\,\gamma_1\,cos\,\beta'\,cos\,\delta - sin\,\beta'\,cos\,\gamma_1}$$

$$tang\,\varepsilon_2 = \frac{sin\,\delta\,cos\,\beta'}{sin\,\gamma_2\,cos\,\beta'\,cos\,\delta + sin\,\beta'\,cos\,\gamma_1}$$

Für das rechte Auge verwandelt sich in diesen Formeln β' in β'', und wenn die Drehung nicht nach oben, sondern nach unten gerichtet ist; so hat man entweder $-\delta$ für δ zu setzen, oder ε_1 und ε_2 als Winkel unterhalb der Ebene $AccA$ zu verstehen, durch welche die entgegengesetzten Muskeln in Anspruch genommen werden.

Führt man den Hülfswinkel φ mit der Relation

$$tang\,\varphi = \frac{tang\,\beta'}{cos\,\delta}$$

ein; so wird

$$tang\,\varepsilon_1 = \frac{tang\,\delta\,cos\,\varphi}{sin\,(\gamma_1 - \varphi)}$$

$$tang\,\varepsilon_2 = \frac{tang\,\delta\,cos\,\varphi}{sin\,(\gamma_2 + \varphi)}$$

Wenn die Hebung des Auges so gering ist, dass man statt der Tangenten der kleinen Winkel δ, ε_1, ε_2 die Winkel selbst, ebenso $sin\,\delta = \delta$ und $cos\,\delta = 1$ setzen kann; so vereinfachen sich diese Formeln. Man hat dann

$$\varepsilon_1 = \frac{cos\,\beta'}{cos\,(\gamma_1 - \beta')} \cdot \delta$$

$$\varepsilon_2 = \frac{cos\,\beta'}{cos\,(\gamma_2 + \beta')} \cdot \delta$$

Wenn δ positiv oder das Auge in die Höhe gerichtet ist, stellt ε_1 die Anstrengung des oberen geraden und ε_2 die des unteren schiefen Muskels dar; wenn dagegen δ negativ oder das Auge niedergesenkt ist, stellt ε_1 die Anstrengung des unteren geraden und ε_2 die des oberen schiefen Muskels dar. Zwischen diesen beiden Kräften besteht das Verhältniss

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{\cos(\gamma_2 + \beta')}{\cos(\gamma_1 - \beta')}$$

Wenn die Augen in unendliche Ferne blicken, also $\beta' = 0$ ist, wird

$$\varepsilon_1 = \frac{\delta}{\cos \gamma_1} = \frac{\delta}{\cos 67^0} = 2{,}56 \,.\, \delta$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\delta}{\cos \gamma_2} = \frac{\delta}{\cos 36^0} = 1{,}24 \,.\, \delta$$

und das Verhältniss

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{\cos 36^0}{\cos 67^0} = 2{,}06$$

Die Anstrengung des oberen oder unteren geraden Muskels ist also in diesem Falle nahezu doppelt so gross, als die des unteren oder oberen schiefen. Gleich stark würden diese Muskeln angestrengt werden, wenn man

$$\gamma_2 + \beta' = \gamma_1 - \beta'$$

also

$$\beta' = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{2} = \frac{67^0 - 36^0}{2} = 15{,}5^0$$

hat. Diesem Ablenkungswinkel $\beta' = 15{,}5^0$ entspricht bei geradem Blicke ein Konvergenzwinkel von $\alpha = 31^0$. Setzt man den Abstand cc der beiden Drehpunkte der Augen gleich a und die Sehweite ca von diesem Drehpunkte bis zum Objekte gleich b; so ist $b = \frac{a}{2 \sin \beta'}$. Für den vorstehenden Werth von $\beta' = 15{,}5^0$ ist diese Sehweite $b = \frac{a}{2 \sin 15{,}5^0} = 1{,}875\, a$. Da die Entfernung der Drehpunkte etwa $a = 70$ Mm. ist; so beträgt die letztere Sehweite, bei welcher die Hebung oder Senkung des Blickes gleiche Anstrengung der oberen oder unteren geraden und der unteren oder oberen schiefen Muskeln erfordert, d. h. bei welcher diese Hebung oder Senkung gleiche Rotationsbewegungen um die Axe cd und cb erfordert, 131 Mm. oder nicht ganz 5 Zoll. Diese Sehweite ist erheblich kleiner als die des deutlichen Sehens und bezeichnet fast die Grenze des möglichen Sehens ohne übergrosse Undeutlichkeit.

In der Entfernung des deutlichen Sehens, also für $b = 230$ Mm. hat man für den Ablenkungswinkel β' oder für den halben Konvergenzwinkel bei geradem Blicke $\sin \beta' = \frac{a}{2b} = \frac{70}{2 \,.\, 230} = 0{,}1522$ also $\beta' = 8^0\, 43'$. Für diesen Werth wird das obige Verhältniss der Muskelanstrengungen

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{\cos(36^0 + 8^0\,43')}{\cos(67^0 - 8^0\,43')} = \frac{\cos 44^0\,43'}{\cos 58^0\,15'} = 1{,}35$$

Man sieht, die oberen und unteren geraden Muskeln werden immer erheblich stärker in Anspruch genommen, als die oberen und unteren

chiefen Muskeln. Demgemäss können die letzteren erheblich schwäher sein, als die ersteren, was sie auch in Wirklichkeit sind.

Will man die Inanspruchnahme der oberen und unteren geraen mit den inneren und äusseren geraden Muskeln vergleichen; so at man

$$\frac{\varepsilon_1}{\beta'} = \frac{\cos\beta'}{\cos\,(\gamma_1 - \beta')}\,\frac{\delta}{\beta'}$$

Bei dem Blicke in unendliche Ferne, also für $\beta' \doteq 0$ werden die nneren und äusseren Muskeln gar nicht angestrengt: in diesem Falle ist lso die Anstrengung der oberen und unteren stets grösser, als die der nneren und äusseren. Bei jeder kleineren Sehweite, oder bei jedem Werthe von β', welche grösser ist als null, findet jedoch für sehr kleine Hebungen und Senkungen oder für sehr kleine Werthe von δ as Umgekehrte statt, d. h. bei sehr geringen Hebungen und Senkungen erden die inneren und äusseren Muskeln stets stärker angestrengt, als ie oberen und unteren. Diese Beziehung gilt so lange, bis die Hebung der Senkung δ einen gewissen Betrag erreicht. Dieser Betrag, für welhen die genannten Muskeln gleich stark angestrengt werden, ist

$$\delta \doteq \frac{\cos\,(\gamma_1 - \beta')}{\cos\beta'}\,\beta'$$

Dieser Werth von δ ist z. B. bei der Sehweite des deutlichen Sehens der für $\beta' = 8^0\,43'$

$$\delta = \frac{\cos\,(67^0 - 8^0\,43')}{\cos\,8^0\,43'} \cdot 8^0\,43' = \frac{\cos\,58^0\,17'}{\cos\,8^0\,43'} \cdot 8^0\,43'$$

$$= \frac{0{,}526}{0{,}988} \cdot 8^0\,43' = 4^0\,38'$$

nd bei der vorhin betrachteten kürzeren Sehweite, bei welcher die Anstrengungen der oberen oder unteren geraden Muskeln denen der oberen der unteren schiefen gleich werden, wofür man $\beta' = 15{,}5^0$ hat, wird ener Werth von δ

$$\delta = \frac{\cos\,(67^0 - 15^0\,30')}{\cos\,15^0\,30'} \cdot 15^0\,30' = \frac{\cos\,51^0\,30'}{\cos\,15^0\,30'} \cdot 15^0\,30'$$

$$= \frac{0{,}6225}{0{,}9636} \cdot 15^0\,30' = 10^0$$

Hiernach hört das Übergewicht, welches die inneren und äusseren ber die unteren und oberen geraden Muskeln bei der Ablenkung β' der bei der Konvergenz $\alpha = 2\,\beta'$ besitzen, allerdings bei mässigen Heungen oder Senkungen schon auf: allein dieser Umstand kann nicht für maassgebend bei der organischen Konstruktion jener Muskeln angesehen werden. Man muss sich vielmehr vergegenwärtigen, dass während die Augen unter der Ablenkung β' auf einen mitten vor dem Gesichte liegenden Punkt a konvergiren, womöglich jeder Punkt, welcher in einem vertikalen Kreise um den Punkt a als Zentrum liegt, mit gleicher Anstrengung aller Muskeln sollte erreicht werden können. Für den

höchsten und tiefsten Punkt dieses Kreises ist $\beta' = \beta'$ und nahezu $\delta = \varphi$, während für den am weitesten rechts liegenden Punkt β' zu $\beta' + \varphi$ und δ zu null wird, wenn man mit φ die grösste Vergrösserung des Ablenkungswinkels β' bezeichnet, welche bei der Durchlaufung der fraglichen Kreisperipherie entsteht.

Während nun die grösste Anstrengung des inneren geraden Muskels $\beta' + \varphi$ ist, beträgt die grösste Anstrengung des oberen oder unteren geraden Muskels

$$\varepsilon_1 = \frac{\cos \beta'}{\cos (\gamma_1 - \beta')} \varphi$$

Die Anstrengung des inneren geraden Muskels ist hiernach so lange die stärkere, als

$$\frac{\beta' + \varphi}{\varphi} \quad \text{grösser als} \quad \frac{\cos \beta'}{\cos (\gamma_1 - \beta')}$$

ist. Für die Weite des deutlichen Sehens oder für $\beta' = 8^0 43'$ ist diese Bedingung erfüllt, so lange

$$\frac{8^0 43' + \varphi}{\varphi} > \frac{\cos 8^0 43'}{\cos 58^0 17'}, \text{ oder } > \frac{0{,}988}{0{,}526} \text{ oder } > 1{,}878$$

ist, also für alle Werthe von φ, welche kleiner sind als $9^0 56'$ oder ppr. 10 Grad.

Eine Abweichung von 10 Grad aus dem Mittelpunkte des Kreises, auf welchen bei der Entfernung des deutlichen Sehens beide Augen gerichtet sind, nach rechts, nach links, nach oben und unten, möchte aber die gewöhnlichen und zum Zwecke des Sehens ausgeführten Augenbewegungen vollkommen umschliessen. Innerhalb dieser Grenzen wird der innere gerade Augenmuskel am stärksten von allen, das innere und äussere gerade Muskelpaar stärker als das obere und untere gerade Paar und letzteres wieder stärker als das schiefe Muskelpaar angestrengt. Diese aus den geometrischen Verhältnissen der Drehungsaxen hervorgehenden Beziehungen entsprechen auch den anatomischen Massenverhältnissen der fraglichen Muskeln.

5. Das Ophthalmotrop. Die Ergebnisse der vorstehenden Entwicklung über die Funktionen der einzelnen Augenmuskeln weichen von den Ansichten ab, welche nach Ruete, Ophthalmologie S. 43 ff., und Valentin, Physiologie S. 455 ff., als die herrschenden zu betrachten sind. Gleichwohl muss ich bei den meinigen beharren. Die entgegenstehenden Ansichten stützen sich zum Theil auf Annahmen über spezielle und allgemeine Bewegungsgesetze, welche nicht stichhaltig sind: namentlich aber ist das zur Veranschaulichung jener Bewegungen von Ruete unter dem Namen Ophthalmotrop angewandte, in den Göttinger Studien vom Jahre 1845 und in einem besonderen Abdrucke vom Jahre 1846 beschriebene Instrument geeignet, Täuschungen zu veranlassen.

Dieses Instrument stellt nach dem Grundrisse Fig. 112 und der

Ansicht Fig. 113 das Auge mit drei Ringen umgeben dar. Der äussere

Fig. 113.

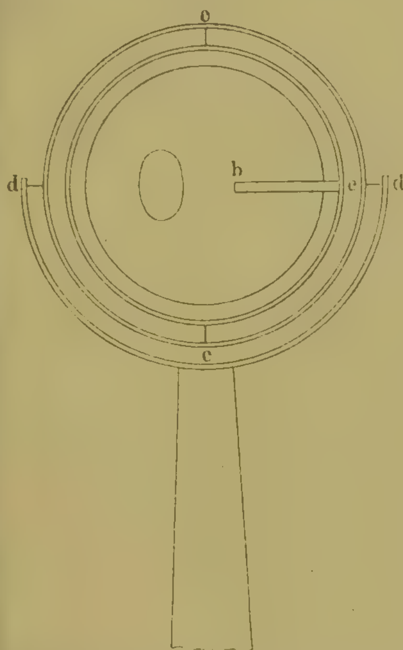
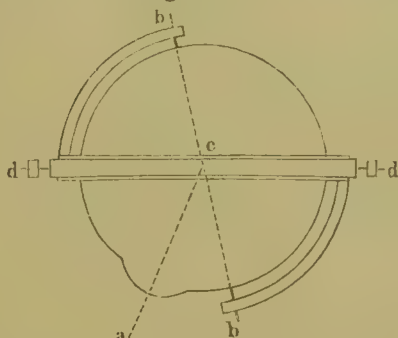


Fig. 112.



Ring ist auf einem Statif befestigt und bietet eine feste Drehungsaxe *dd* dar, welche der Drehungsaxe der inneren und äusseren geraden Muskeln entspricht. In diesem Ringe ist um die vertikale Axe *cc* der oberen und unteren Muskeln der zweite Ring drehbar. An diesem zweiten Ringe sitzen zwei Segmente, *db* in Fig. 112 und *eb* in Fig. 113, welche ın ihren Enden *b* vermittelst der dritten drehbaren Axe *bb* der schiefen Muskeln den Augapfel selbst tragen.

Durch Klemmschrauben kann die Reibung an den Drehzapfen so vermehrt werden, dass das Auge in jeder Stellung ruhig stehen bleibt.

Dass die Muskeln durch geeignete Konstruktionstheile, etwa durch ˙äden vertreten seien, geht aus der Beschreibung des Ophthalmotropes ·icht hervor: die Thätigkeit der einzelnen Muskeln bei irgend einer ·ugenstellung scheint vielmehr lediglich aus den Winkelabweichungen ·eurtheilt zu sein, welche die Ringe zeigen, wenn man die Sehaxe in die ·etreffende Richtung bringt.

Gleichviel nun, wie man diese Drehung des Auges bewerkstelligt ·nd misst; immerhin kann dieses Instrument die richtige Muskelthätig-·eit nicht zur Erscheinung bringen. Die aus der Beobachtung dieses ·nstrumentes gezogenen Schlüsse gehen nämlich von der Voraussetzung ·us, dass drei Drehungsaxen durchaus nothwendig seien, um die ·ugenaxe in jede Richtung des Raumes zu bringen. Wie schon vorhin ·wähnt, ist diese Annahme unrichtig: zwei Drehungsaxen würden hierzu ·ollkommen ausreichen. Demnach kann ein Ophthalmotrop bei dersel-·en Richtung der Augenaxe gar sehr verschiedene Drehungen ·m die drei Axen anzeigen. Man kann den zweiten Ring ganz fest-·alten und gleichwohl vermittelst der Drehungen um die beiden Axen · und *bb* die Augenaxe in jede beliebige Richtung bringen.

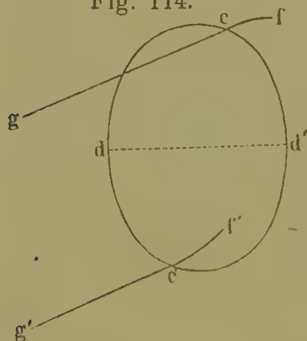
Wenn also ein Ophthalmotrop, indem man durch direktes Anfassen ·es Augapfels die Augenaxe aus der Ruhelage in eine gegebene Rich-·ng hinüber führt, gewisse Drehungen um die fraglichen drei Axen ·igt; so wird dasselbe ein anderes Mal in demselben Zustande ganz

andere Drehungen aufweisen, und blieben sich diese Drehungen mehrmals einander gleich; so könnte man Diess nur der Wirkung der Reibungen an den Zapfen zuschreiben, welche bei einer gewissen Ablenkung der Augenaxe die Drehung um die eine oder die andere der drei Axen besonders begünstigen.

Wollte man daher die Drehungen um die drei Axen als Maass für die Anstrengungen der betreffenden Muskelpaare ansehen und dieselben bei der chirurgischen Operation des Schielens in speziellen Fällen zur Richtschnur nehmen; so wäre man der Gefahr grosser Missgriffe ausgesetzt.

Die Manipulationen an dem Ophthalmotrope würden den natürlichen Vorgängen ähnlicher werden, wenn man nicht durch direktes Anfassen des Augapfels die Bewegung von diesem Apfel auf die Ringe, sondern umgekehrt von den Ringen auf den Augapfel fortpflanzte und zu diesem Ende die Ringe an den Anheftepunkten der Augenmuskeln mit Fäden versähe. An die Ringe müssten dann womöglich vorher Bügel cf, $c'f'$ (Fig. 114) befestigt werden, welche sich in der Richtung der Muskeln gc, $g'c'$ fortsetzten und es müssten die Fäden, wie es mit den Muskeln der Fall ist, in der der Wirklichkeit entsprechenden Weise auf der ganzen Länge der Bügel cf, $c'f'$ angeheftet werden.

Fig. 114.



Da im Ophthalmotrope ein fester Drehpunkt oder eine feste Drehungsaxe gegeben ist; so ist es jetzt sehr wohl thunlich, von einem Muskelpaare jeden Strang, z. B. von dem inneren und äusseren geraden Paare sowohl den inneren als auch den äusseren Muskel anzuspannen: denn die Resultante dieser beiden Zugkräfte wird durch die festen Stützpunkte aufgenommen. Am Auge, wo kein solcher Stützpunkt existirt, ist eine Doppelspannung dieser Art von irgend einem namhaften Betrage nicht möglich, wenigstens sehr unwahrscheinlich, weil durch sie das Auge nicht gedreht, sondern gegen die Wände der Augenhöhle gepresst werden würde, was sowohl eine Verrückung desselben und bei den Drehungen desselben ein Schwanken, als auch eine Formveränderung und eine das Sehen und das Gefühl beeinträchtigende Affektion zur Folge haben müsste. Veranlasst doch schon die leiseste Berührung der Augenlider, also der schwächste Druck gegen das Auge Empfindungen und subjektive Lichterscheinungen, welche namentlich im Dunkeln sehr bemerkbar sind. Eine Pressung des Augapfels gegen die Wände der Augenhöhle kann nur in so schwachem Grade vorkommen, dass dieselbe keine wesentliche Rolle spielt, wenigstens nicht im entferntesten mit den willkürlichen Spannungen verglichen werden kann, welche man den doppelten Muskelsträngen am Ophthalmotrope vermöge des festen Mittelpunktes zu geben im Stande ist. Die aus dem mit Fäden versehenen Ophthalmotrope geschöpfte Meinung, dass im Zustande vollkommener Ruhe alle sechs Augenmuskeln angespannt seien, beruht daher auf einem Irrthume, ist wenigstens durch dieses Instrument nicht zu erweisen.

Wenn man am Ophthalmotrope beide Stränge eines Muskelpaares nspannt; so kann man damit bewirken, dass dieses Paar Drehungen icht bloss um seine eigene, sondern auch um die übrigen Drehungs-xen erzeugt. Denn dreht man z. B. das Auge durch Anziehung des neren geraden Muskels um die vertikale Axe cc nach innen; so würden ch die Angriffspunkte der schiefen Muskeln, da ihre Befestigung über en Durchmesser, an welchem sie wirken sollen, hinausreicht, so verschie-en, dass wenn man dieselben beide gleichmässig anspannt, sie keine rehung um die ihnen angehörige Axe herbeiführen, sondern die Drehung m die vertikale Axe vermehren: waren aber die schiefen Muskeln orher nur wenig angespannt; so werden dieselben in Folge dieser Ver-ückung beide schlaff werden.

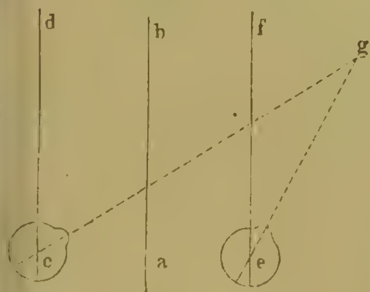
Da diese Wirkung der beiden Stränge eines Muskelpaares auf der oraussetzung fester Stützpunkte beruht; so folgt, dass den aus dem phthalmotrope sich ergebenden Beziehungen über die Gemeinschaft-chkeit der Funktionirung mehrerer Muskelpaare keine objek-ve Gültigkeit zugeschrieben werden kann.

Endlich haben die Fäden des Ophthalmotropes, welche die Muskeln ertreten, wohl die Fähigkeit, bei ihrer Ausdehnung, d. h. bei der Ent-rnung ihrer Endpunkte Zugspannungen zu erzeugen und bei der An-äherung ihrer Endpunkte zu erschlaffen oder eine frühere künstliche pannung zu verlieren: allein jene anorganischen Fäden besitzen nicht ie Fähigkeit der organischen Muskeln trotz etwaiger Ausdehnung der Entfernung der Endpunkte auf das Geheiss des Gesammtorganis-us zu erschlaffen. Auch aus diesem Grunde erzeugen die künstlichen pannungen am Ophthalmotrope andere Bewegungen, als die Muskeln am uge, von denen während der Rotation um eine Axe die eine in dem aasse sich ausdehnt und erschlafft, wie die andere sich kontrahirt, und eren grössere oder geringere, auf diese oder jene Fäden sich erstreckende rschlaffung wesentlich dazu beitragen kann, die Verrückungen einer rehungsaxe in Folge der Drehungen um die übrigen Axen zu verhüten der zu mildern.

In §. 15 No. 6 werde ich unter dem Namen des Okulariums ein verlässigeres Instrument beschreiben.

6. Normale Funktionen der einzelnen Muskeln bei den ver-hiedenen Blicken. Aus der nachfolgenden Übersicht ist zu erkennen, welche Augenmuskeln bei den verschiedenen Blicken durch Kontraktion in Thätigkeit gesetzt werden. Hierbei verstehen wir unter der mittleren Kopfaxe ab (Fig. 115) die bei gerader Augenstellung durch die Mitte der Stirn mit den Augenaxen parallel gezogene Linie, unter der linken und rechten Kopfaxe die Linie cd, resp. ef, welche zur mittleren Kopfaxe parallel durch den Mittelpunkt des linken und rechten Auges gezogen ist.

Fig. 115.



Richtung des Blickes	Muskel des linken Auges	Muskel des rechten Auges
I. Blick in horizontaler Ebene.		
A. Objekt in der mittleren Kopfaxe.		
unendliche Sehweite	keiner	keiner
endliche Sehweite	innerer gerader	innerer gerader
B. Objekt links von der mittleren Kopfaxe.		
a. links von der linken Kopfaxe .	äusserer gerader	innerer gerader
b. in der linken Kopfaxe	keiner	innerer gerader
c. rechts von der linken Kopfaxe .	innerer gerader	innerer gerader
C. Objekt rechts von der mittleren Kopfaxe.		
a. rechts von der rechten Kopfaxe	innerer gerader	äusserer gerader
b. in der rechten Kopfaxe	innerer gerader	keiner
c. links von der rechten Kopfaxe .	innerer gerader	innerer gerader
II. Blick nach oben.	die vorstehenden Muskeln je nach der Abweichung von der Kopfaxe und ausserdem	
	oberer gerader u. unterer schiefer	oberer gerader u. unterer schiefer
III. Blick nach unten.	die ad I genannten Muskeln und ausserdem	
	unterer gerader u. oberer schiefer	unterer gerader u. oberer schiefer.

Die Nichtübereinstimmung der aus dem Experimentiren mit dem Ophthalmotrope sich ergebenden Resultate mit den vorstehenden zeigt sich bei Vergleichung der letzteren mit der Zusammenstellung in Ruete's Ophthalmologie, Bd. I, S. 43. So verlangt z. B. das Ophthalmotrop für den geraden Blick auf ein Objekt von endlicher Sehweite ausser der Anspannung des inneren geraden Muskels an jedem Auge irrthümlich noch die Anspannung des oberen und unteren geraden Muskels an jedem Auge.

Weit trügerischer als für die normalen Funktionen der Augenmuskeln erweis't sich übrigens das Ophthalmotrop zur Bestimmung der Muskeln, welche die abnormen Stellungen schielender Augen hervorbringen (vgl. §. 15 No. 5 und 6).

7. Harmonische Zusammenwirkung der einzelnen Muskeln untereinander und mit dem Akkommodationsapparate. Bei dem horizontalen Seitenblicke treten nur die inneren und äusseren geraden Augenmuskeln in Thätigkeit und zwar regulirt sich die Spannung der betreffenden Muskeln an beiden Augen so, dass die Augenaxen auf den fixirten Punkt konvergiren. Obgleich die Thätigkeit der Augenmuskeln unter der Herrschaft des Willens steht (wir können die Augen-

xen auf jeden Punkt konvergiren lassen, auch wenn sich daselbst kein euchtendes Objekt befindet); so ist diese Herrschaft des Willens doch icht absolut frei; in gewissem Grade ist sie abhängig von der Induk-ionswirkung der übrigen Apparate des Auges, insbesondere von dem kkommodationsapparate: sowie wir ein Auge näher zu akkommo-iren trachten, konvergirt die Axe des anderen Auges stärker, spannt ich also der innere gerade Muskel des anderen Auges stärker.

Es ist auch möglich, dass, indem sich ein Auge näher akkommodirt, n diesem Auge der innere und der äussere gerade Muskel, vielleicht ogar ein jeder der sechs Muskeln eine schwache Kontraktion erleidet.

In ähnlicher Weise, wie mit dem Akkommodationsapparate stehen uch die Augenmuskeln unter sich in einem gewissen Abhängigkeits-erhältnisse. Alle diese Abhängigkeiten erhalten dadurch ihren gesetz-chen Zusammenhang, erzeugen dadurch ein harmonisches Zu-ammenwirken aller einzelnen Organe, dass sie in jedem Auge von em Sehnerven oder der Netzhaut ausgehen und dass die Sehnerven der eiden Augen in das gemeinschaftliche Gehirn führen. Das Licht des on dem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlenbündels wirkt direkt uf die Netzhaut; die hierdurch gereizten Nervenfasern nöthigen des Auge sowohl zur richtigen Akkommodation, als auch zu einer lchen Drehung, dass die Lichtbilder in beiden Augen auf die Mit-lpunkte der korrespondirenden Netzhautstellen fallen. Die i unvollkommener Akkommodation entstehenden Zerstreuungskreise thalten die direkte Nöthigung zur vollkommneren Akkommodation d die bei falscher Stellung der Augenaxen entstehenden Doppel-lder liefern den Zwang zu der richtigen Funktionirung der Augen-uskeln.

Bei der Erhebung und Senkung des Blickes funktioniren an dem Auge die oberen und unteren geraden und schiefen Mus-eln in einem ganz bestimmten Kraftverhältnisse so, dass nur rehung um die horizontale Linie erfolgt, welche beide Augenmittel-nkte miteinander verbindet. Auch dieses Kraftverhältniss regulirt h unter der Herrschaft eines Zwanges, welcher keine Abweichung ge-ttet. Dieser Zwang entspringt aus der Vereinigung derjenigen Dop-lbilder, welche sich durch Verdrehung der scheinbaren Objekte fort ergeben, wenn jenes Kraftverhältniss nicht das normale ist, wenn o z. B. der untere schiefe Muskel eines Auges nicht harmonisch mit m oberen geraden arbeitet.

Wie nothwendig es ist, dass beide Augen, sie mögen parallel oder nvergent, geradeaus oder seitwärts blicken, bei der Erhebung und nkung nur um die Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte rotiren, ss also die Muskelthätigkeit nach der von uns oben vorgetragenen An-ht sich regulire, geht recht anschaulich daraus hervor, dass nur unter sen Umständen die in unserem Gesichtskreise liegenden Objekte bei beliebigen Bewegung der Augen stets ihre richtige Stellung gegen Vertikale oder den Horizont beibehalten, dass aber, wenn die gen sich auch um andere Axen drehen könnten, das Gesichtsfeld wegen relativen Verschiebung der korrespondirenden Netzhautstellen unter

Beibehaltung des absoluten Ortes der Lichtbilder bald gerade, bald schief, bald einfach, bald doppelt erscheinen würde.

Wäre nur ein einziger Objektpunkt vorhanden; so lieferte die Vereinigung der Doppelbilder bloss den Zwang zu der harmonischen Thätigkeit der inneren und äusseren geraden Muskeln oder zur übereinstimmenden Drehung jedes Auges um die vertikale Axe oder zur richtigen Konvergenz der Augenaxen. Die Ausdehnung der Objekte oder die Mehrheit der gleichzeitig wirkenden Lichtpunkte erzeugt den Zwang zur harmonischen Thätigkeit der oberen und unteren geraden und schiefen Muskeln oder zur gemeinschaftlichen Drehung beider Augen um die Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte oder zu der gleichmässigen Erhebung und Senkung beider Augen ohne Seitenabweichung.

Allgemein ist die Identität der Netzhautstellen (§. 13) der unwillkürliche Regulator für die Thätigkeit der Augenmuskeln.

8. **Statisches Gleichgewicht des Augapfels.** In Beziehung auf die Geschwindigkeitsverhältnisse der Augenbewegungen und das statische Gleichgewicht der am Auge wirkenden Kräfte sind noch einige Bemerkungen zu machen.

Wenn der Augapfel den Muskelkräften gar keinen Widerstand entgegensetzte, und wenn sich während des Verlaufes der Bewegung zu den vorhin beschriebenen Muskelkräften keine neuen gesellten; so müssten diese Bewegungen nothwendig mit beschleunigter Geschwindigkeit vor sich gehen; dieselben könnten dann nur ein Schleudern des Augapfels, welches die Sehaxe immer über ihr Ziel hinauswürfe, jedoch keine feste und sicher begrenzte Bewegung erzeugen. Dasselbe würde bei raschen Bewegungen selbst dann noch stattfinden, wenn sich dem Augapfel nur konstante, etwa in Reibungen an seinem Umfange bestehende Kräfte entgegenstellten, und es wäre zur Verhütung jenes Übelstandes keineswegs hinreichend, dass diejenigen Muskeln, welche die Bewegung mit einer gewissen Rapidität eingeleitet hätten, allmählich ganz erschlafften, da man den Widerstand eines erschlafften Muskels im Vergleich zu der Zugkraft des kontrahirten Muskels nur als sehr unbedeutend, und keinesfalls als geeignet zur Erzielung einer in jedem Momente sich selbst sicher beschränkenden Bewegung ansehen kann.

Die Bewegungen des Augapfels müssen also nothwendig durch neue variabele Muskelkräfte, welche während der Wirksamkeit der obigen Muskeln auftreten, geregelt werden.

Zu einer solchen Regelung wäre nun zwar immer der gegenüberliegende Muskel des in Thätigkeit begriffenen Paares geeignet. Man braucht sich nämlich nur zu denken, dass, während z. B. der innere gerade Muskel sich kontrahirt und das Auge nach innen dreht, die Erschlaffung des äusseren Muskels, welcher sich verlängern muss, keine unbegrenzte oder unbestimmte ist, sondern genau mit dem Bedürfnisse Schritt hält, sodass dieser Muskel sofort den nöthigen Widerstand leistet, falls der innere Muskel zu stark wirkt: hierdurch wäre eine eigentliche Beschleunigung in der Drehung leicht zu verhüten und es wäre eine ruhige und sichere Bewegung zu erzielen.

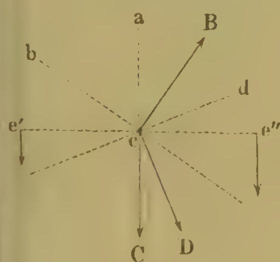
Die Rückkehr des Auges aus irgend einer Stellung in die Ruhelage würde man sich denn auch so zu denken haben, dass im vorstehenden Falle der innere gerade Muskel, welcher kontrahirt war, erschlafft, jedoch ebenfalls nicht unbegrenzt, sondern allmählich, und dass in dem äusseren Muskel die Nervenaffektion, welche ihn bis dahin trotz seiner Ausdehnung schlaff erhielt, aufgehoben, der Muskel selbst also der einfachen Wirkung der Kontraktionsspannung überlassen wird, welche sich wegen seines Expansionszustandes äussern muss und welche erst dann aufhört, wenn der Augapfel in die Ruhelage zurückgekehrt und hierdurch der fragliche Muskel auf seine natürliche Länge gebracht ist.

In dieser Weise sind nun die gegenüberliegenden Muskeln eines Paares unzweifelhaft sowohl bei jeder Bewegung thätig, welche den Augapfel aus der Ruhelage treibt, als auch bei jeder Bewegung, welche die Rückkehr in die Ruhelage zum Zwecke hat. Allein ausreichend ist diese Mitwirkung der fraglichen Muskeln nicht: es müssen nothwendig noch andere Kräfte in Thätigkeit treten: die sechs Augenmuskeln in Verbindung mit der Reibung oder Adhäsion an den Wänden der Augenhöhle sind für sich allein nicht im Stande, das Auge ordnungsmässig zu bedienen.

Die Bewegung des Auges ist nach Obigem durchaus keine beschleunigte oder verzögerte und darf auch eine solche nicht sein, weil sonst eine sichere, präzise Begrenzung, ein deutliches und rasches Sehen bei lebhaftem Wechsel der Axenrichtung nicht möglich wäre. Das Auge ist vielmehr in jedem Augenblicke unter der Herrschaft der darauf wirkenden Kräfte im Gleichgewichte. In einem solchen Zustande, wenn er dauernd ist, spielen aber die Reibungen oder Adhäsionen an den Wänden der Augenhöhle keine Rolle; dieselben treten vielmehr nur während der Bewegung auf.

Die sechs Augenmuskeln für sich allein vermögen aber keinen Gleichgewichtszustand zu erhalten. Denn das Gleichgewicht erfordert zunächst, dass die Resultante dieser Kräfte, wenn dieselben parallel zu ihren Richtungen an einen Punkt getragen werden, null sei. Gleichviel nun, ob und wie von einem Muskelpaare, z. B. dem des inneren und äusseren geraden Muskels e' und e'' (Fig. 116) jeder einzelne in Anspruch genommen ist; die Resultante dieses Paares, welches nur durch Kontraktion, also in der Richtung der Pfeile wirken kann, ist immer eine auf der Drehungsaxe c normale, mit der Muskelrichtung dieses Paares parallele Kraft cC. Ebenso ist die Resultante der Kräfte des oberen und unteren geraden Muskels eine auf der Drehungsaxe cd normale, mit der Muskelrichtung dieses Paares parallele Kraft cD, und es ist die Resultante der Kräfte des oberen und unteren schiefen Muskels eine auf der Drehungsaxe cb normale, mit der Muskelrichtung dieses Paares parallele Kraft cB. Von diesen drei Kräften cC, cD, cB schliessen die beiden äusseren einen stumpfen Winkel CcB von 126 Grad ein, zwischen dessen Schenkeln die dritte Kraft cD liegt, indem sie sich gegen die cC unter dem Winkel von $DcC = 23$ Grad

Fig. 116.



und gegen die cB unter dem Winkel von $DcB = 103$ Grad neigt. Solche drei Kräfte können nach den Prinzipien der Statik niemals im Gleichgewichte sein. Dieselben haben vielmehr eine Resultante, deren Richtung in dem Winkel CcB liegt. Vermöge dieser Resultante würde das Auge stets nach innen und hinten gegen die Augenhöhle gepresst werden, und jenachdem die Kräfte cC, cD, cB ihrer Grösse nach variiren, also bei jeder Bewegung des Auges, würde auch der Mittelpunkt desselben wegen der Pressbarkeit der Fettumhüllung in der Augenhöhle hin- undher und seitwärts schwanken und das Auge würde bald mit grösserer, bald mit geringerer Kraft gegen die Wände der Augenhöhle gedrückt werden.

Eine solche Bewegung des Mittelpunktes des Auges findet in einem erheblichen, der Beobachtung sich darbietenden Grade nicht statt, und wenn sie in diesem Maasse stattfände, würde die Frage wegen des Gleichgewichtes damit noch nicht erledigt sein: denn dieses Gleichgewicht erfordert nicht bloss, dass die eben besprochene Resultante der drei Kräfte cC, cD, cB null sei, sondern auch noch, dass die Summe der Drehungsmomente, welche den Muskelkräften zukommen, um jede beliebige Axe null sei. Dass diese Momente, von welchen das eine Drehung um eine vertikale Axe c (Fig. 110), die anderen beiden dagegen Drehung um eine horizontale Axe cc zu erzeugen streben, sich nicht gegenseitig vernichten oder im Gleichgewichte sind, ist nach statischen Gesetzen ebenfalls klar. Drehungsmomente können aber nicht durch Kräfte oder Widerstände annullirt werden, welche, wie der vorhin besprochene mögliche Widerstand der Augenhöhlenwand, wegen der Glätte dieser Wand, nur auf den Mittelpunkt des Auges gerichtet sein können. Hierzu sind vielmehr exzentrische, also tangential oder nahezu tangential am Umfange des Auges wirkende Kräfte erforderlich (indem von schräg gegen den Augapfel wirkenden Kräften nicht füglich die Rede sein kann).

9. **Wirkung der Augenlider.** Diese tangentialen Widerstände werden nun in der That durch die Gewebe erzeugt, mit welchen der Augapfel durch seine Bindehaut verwachsen ist, vor allen Dingen also durch die Augenlider und die Thränendrüse. Diese Organe sind vermittelst ihrer unteren Haut in einer Linie, welche nahezu einem vertikalen grössten Kreise entspricht, ringsum an den Augapfel gewachsen. Die Augenlider bestehen aus biegsamen Knorpeln. Bei der Aufwulstung der Aussenfläche der Augenlider durch Zug an ihrer Innenfläche stemmen sich dieselben im oberen Lide gegen den von den Augenbrauen überzogenen oberen Knochenrand der Augenhöhle und den Fleischüberzug der Stirn und im unteren Lide gegen den unteren Höhlenrand und den Fleischüberzug der Wangen und leisten auf diese Weise Widerstand, indem sie den Druck auf die Knochenwand der Augenhöhle und das Muskelfleisch des Gesichts übertragen. Umgekehrt rufen dieselben bei der Ausstreckung ihrer Aussenfläche durch Schub an ihrer Innenfläche einen Zug von Seiten dieser Stützpunkte hervor.

Diese Wirkung der Augenlider kömmt namentlich bei der Drehung der Augen nach oben und unten zur Geltung. Denn wenn in dem ver-

tikalen Durchschnitte Fig. 117 *a* und *c* die Stellen sind, wo die Bindehaut des oberen und unteren Augenlides mit dem Augapfel verwachsen

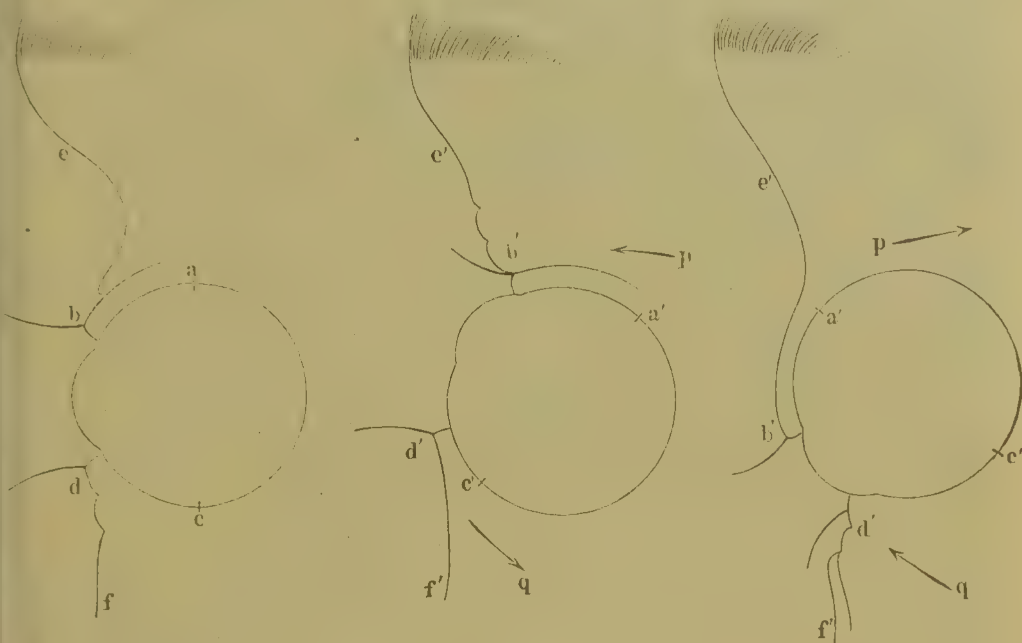


Fig. 117. Fig. 118. Fig. 119.

ist; so wird sich bei der Hebung des Auges nach Fig. 118 das obere Augenlid *a b*, indem der Verbindungspunkt *a* nach *a'* zurückrückt, sich gegen den unbeweglichen oberen Rand *e* der Augenhöhle, oder gegen die Augenbrauen stauchen, wobei die Innenfläche sich spannt und die Aussenfläche sich wulstet, und dadurch eine Widerstandskraft in der Richtung des Pfeiles *p* erzeugen. Gleichzeitig wird das untere Augenlid *cd*, indem der Verbindungspunkt *c* nach *c'* vorrückt, an der Innenfläche sich stauchen, an der Aussenfläche dagegen sich spannen oder straff ziehen und dadurch eine Widerstandskraft in der Richtung des Pfeiles *q* erzeugen.

Diese beiden Kräfte *p* und *q* sind es, welche dem Drehungsmomente der Zugkräfte des oberen geraden und des unteren schiefen Muskels das Gleichgewicht halten. Die letzteren Zugkräfte erzeugen nämlich nach dem Früheren ein Drehungsmoment um die horizontale Verbindungslinie der beiden Augen: Dasselbe thun, aber in entgegengesetzter Richtung, die Kräfte *p*, *q*.

Bei der Senkung des Auges kehren sich die Vorgänge und Wirkungen in den beiden Augenlidern um, indem sich das obere Augenlid streckt und das untere wulstet (Fig. 119).

Bei den Konvergenz- und Seitenbewegungen des Auges wirkt in ähnlicher Weise in der inneren Ecke die Thränendrüse mit ihrer nächsten Umgebung und in der äusseren Ecke das dehnsame und zusammenschiebbare Verbindungsgewebe zwischen den Augenlidern und dem Augapfel. Die hierdurch hervorgerufenen Widerstände halten das Drehungsmoment der Kraft des inneren oder äusseren geraden Muskels um die vertikale Axe im Gleichgewichte.

Man erkennt hieraus zugleich, dass mit den Bewegungen des Auges Bewegungen der Augenlider unzertrennlich verbunden sind. Bei dem Blicke nach oben heben sich beide Augenlider; bei dem Blicke nach unten senken sie sich. Da das untere Augenlid wegen seiner Kürze, Dicke und Anschlussrichtung an die Wange nicht in dem Maasse wie das obere Augenlid seine Form bei der Drehung des Augapfels ändern kann; so ist die Hebung der Augenlider stets mit einer weiteren Öffnung derselben und die Senkung stets mit einer weiteren Schliessung begleitet. Der Blick zur Seite und die Konvergenzbewegung hat nur unbedeutende Bewegungen der Augenlider zur Folge.

Da die Augenlider freiwillig bewegt werden können; so kann man die vorstehende Mitführung derselben durch den sich drehenden Augapfel verhindern: allein diese Verhinderung erfordert ein Aufgebot von Kräften, welche einer Vergrösserung der Widerstände p, q entspricht und rückwirkend eine äquivalente vermehrte Anspannung der zur Drehung in Thätigkeit gesetzten Augenmuskeln nach sich zieht. Man empfindet sehr merklich, dass eine grössere Anstrengung nöthig ist, um den Augapfel unter geschlossenen Augenlidern zu drehen, als bei geöffneten und sich frei überlassenen.

Zu diesen Widerständen der Augenlider gesellen sich noch einige ähnlich wirkende Widerstände, nämlich die Widerstände der das Auge ringsum berührenden elastischen Massen, welche bei der Drehung des Auges wegen der nicht vollkommen kugelförmigen Gestalt des Augapfels aus ihrer Lage gedrängt werden, und der Widerstand des zur Seite geschobenen Sehnerven.

Schliesslich bliebe noch zu untersuchen, ob und in welcher Weise die Augenlider und die weiche Auskleidung der Augenhöhle, welche nach Vorstehendem den Drehungsmomenten das Gleichgewicht halten, auch fähig sind, die früher erwähnte Resultante der Kräfte der Augenmuskeln zu vernichten.

Aus der Figur 118 erkennt man, dass die Kräfte p und q nach Maassgabe ihrer Richtung die aus dem oberen geraden und dem unteren schiefen Muskel entspringende Resultante fast vollständig annulliren.

Nicht ganz so verhält es sich mit den Gegenkräften, welche durch die Seitenbewegung hervorgerufen werden. Dreht sich z. B. das Auge durch den Zug des äusseren geraden Muskels nach aussen; so bewirkt zwar der Gegendruck der sich wulstenden Bindehaut an derselben äusseren Seite eine Verminderung; der Gegenzug der Thränendrüse an der entgegengesetzten Seite bewirkt dagegen eine Vermehrung des resultirenden Druckes. Die sonstigen Widerstände der aus ihrer Lage gedrängten Massen der Augenhöhle bewirken mehr eine Verkleinerung, als eine Vergrösserung der Resultante. Im Ganzen genommen werden also alle auf den Augapfel durch die Augenmuskeln, die Augenlider und die sonstigen umgebenden Gebilde wirkenden Kräfte und Widerstände, obgleich sie in Beziehung auf Drehung vollständig im Gleichgewichte sind, eine Resultante übrig lassen. Diese Resultante wird nach innen oder hinten gerichtet und ihrer Grösse nach nicht bedeutend sein. Von dieser an sich schon unerheblichen Resultante wird nun ein gewisser Theil sich als Druck gegen das Fett-

polster der Augenhöhle nach hinten äussern; ein anderer Theil wird aber durch den Ring, in welchem der Augapfel mittelst der Bindehaut an die Augenlider geheftet ist, auf die umgebenden Massen in dem vorderen Rande der Augenhöhle übertragen; ein dritter Theil endlich wird vermöge der Adhäsion des Augapfels an die aus ziemlich steifen Knorpeln gebildete und mit einer fettigen Feuchtigkeit (der Augenbutter) hermetisch sich anschliessende Wand der Augenlider auf die vorderen kugelförmigen Augenlidschalen und von dort auf die Augenbrauen, die Wangen und die Ränder der Augenhöhle fortgepflanzt. Durch diese Verminderung und vielseitige Vertheilung der Resultante wird die Formveränderung, die Affektion und die Mittelpunktbewegung des Augapfels augenscheinlich auf ein Minimum gebracht.

Aus dem Theile dieser Resultante, womit der Augapfel bei Drehungen sich von den Augenlidern abzuziehen strebt, erklärt sich vielleicht die hinundwieder vorkommende Erscheinung, dass bei diesen Bewegungen wirklich eine, mit dem sogenannten Schotengeräusche begleitete Trennung der Augenlider vom Augapfel erfolgt.

§. 15.

Die Hülfsmittel gegen das Schielen.

1. Allgemeine Bedingungen. Aus den Untersuchungen in §. 11 No. 4 über die verschiedenen Arten der Augenfehler, welche das Schielen herbeiführen, ergiebt sich zugleich eine Kritik der dagegen anzuwendenden Hülfsmittel. Hierbei berücksichtigen wir nur optische und chirurgische Mittel, indem solche Mittel, welche eine allmähliche Verbesserung des Apparates auf dem Wege organischer Umbildung zum Zwecke haben, keinen Gegenstand unserer Betrachtungen ausmachen.

Es leuchtet ein, dass sich die Fehler der zweiten Klasse, welche auf abnormer Bildung oder Anheftung der Augenmuskeln beruhen, nur durch chirurgische Operation beseitigen lassen (vergl. übrigens No. 12).

Ein Fehler der dritten Klasse dagegen, welcher aus einer abnormen Bildung der sensuellen Organe, der brechenden Medien, der Netzhaut, des Sehnerven entspringt, kann nicht operirt, sondern nur durch optische Mittel oder Brillen verbessert werden.

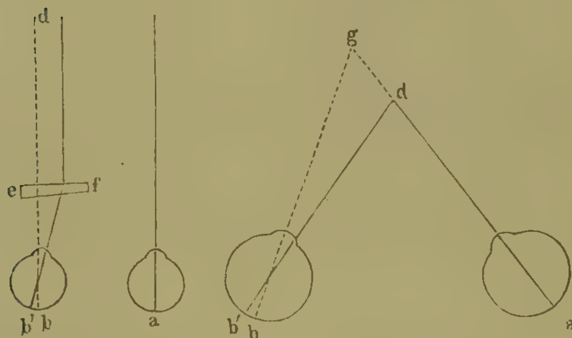
Bei einem Fehler der ersten Klasse, wo ein Missverhältniss zwischen der Akkommodation auf die Entfernung oder der Konvergenz der Augenaxen und der Thätigkeit der Augenmuskeln stattfindet, ist eine chirurgische Operation dieser Muskeln wohl nicht geradezu für unwirksam zu halten, weil eine Veränderung der Länge oder der Angriffspunkte dieser Muskeln einen gewissen Einfluss auf jenes Verhältniss, insbesondere auf die Reizbarkeit der Muskeln äussern kann: allein immer muss die Operation in solchen Fällen als unsicher erscheinen, weil im Allgemeinen das in der Funktionirung der Gehirnapparate liegende Missverhältniss der Kraftaufwendung oder Kraftvertheilung fortbestehen wird. Optische Hülfsmittel können in einem solchen Falle

unzweifelhaft das Schielen vermindern: da Diess aber eine künstliche Verrückung des scheinbaren Objektes voraussetzt; so fragt es sich in jedem speziellen Falle, ob die Verrückung, welche erforderlich ist, um die Thätigkeit der Muskeln in genügendem Grade zu verändern, nicht so bedeutend ist, dass darunter die Deutlichkeit oder die Sehthätigkeit leidet, in welchem letzteren Falle die Wirkung der optischen Mittel unvollkommen bleibt.

2. Die prismatische, die gewöhnliche, die Kombinations- und die helikoidische Brille als Hülfsmittel für die erste und dritte Klasse des Schielens. Nachdem wir uns überzeugt haben, dass die dritte Klasse schielender Augen ausschliesslich und die erste in vielen Fällen optischer Hülfsmittel zur Verbesserung des Seheffektes bedürfen, kömmt es darauf an, diese Mittel näher zu bezeichnen.

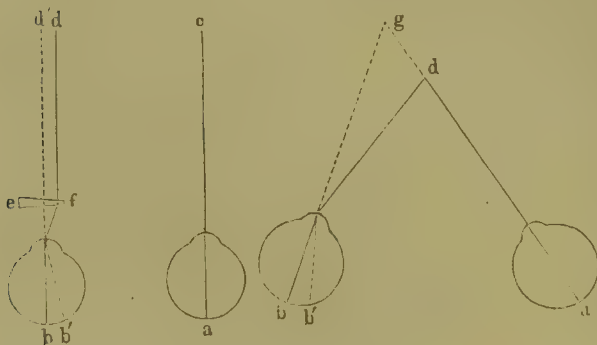
Ist bei einem Fehler der dritten Klasse der physiologische Pol b' eines Auges nach aussen verrückt (Fig. 120); so wird dieses Auge divergent schielen, indem es bei der Fixirung des Punktes d (Fig. 121) seine Axe auf g richtet. Wird dieses Auge mit einem prismatischen Brillenglase ef versehen, dessen dicke Seite aussen liegt; so nimmt seine geometrische Axe die richtige Stellung ein, der Konvergenzwinkel beider Augen wird der richtige, das Schielen hört also auf und der optische Effekt ist in jeder Hinsicht verbessert.

Fig. 120. Fig. 121.



Ganz ebenso ist ein Auge zu behandeln, dessen Axenstrahl $d'\,b$ (Fig. 122) sich nach b' bricht, bei welchem also durch Unsymmetrie der brechenden Medien der Pol der Axenstrahlen nach innen verrückt ist. Ein solches Auge wird beim Anblicke des Punktes d (Fig. 123) ebenfalls divergent schielen.

Fig. 122. Fig. 123.



Allgemein erkennt man, dass fehlerhafte Augen der dritten Klasse, welche auswärts schielen, durch prismatische Brillen mit auswärts gekehrter dicker Seite, solche jedoch, welche einwärts schielen, durch prismatische Brillen mit einwärts gekehrter dicker Seite zu versehen sind.

Bei Vorstehendem ist vorausgesetzt, dass es sich nur um eine Verrückung des physiologischen oder des optischen Poles handelt, welche nicht bloss nach innen oder nach aussen, sondern auch nach oben, nach unten oder in einer schrägen Richtung stattfinden kann, indem danach das prismatische Glas nur gestellt zu werden braucht. Hat jedoch eine Verdrehung des Sehfeldes stattgefunden; so muss die Brille eine entsprechende Verdrehung des Netzhautbildes erzeugen.

Das Glas, welches diesen Dienst verrichten soll, muss folgende Form haben. Jedes ringförmige Element hi (Fig. 124) muss ein im Kreise gebogenes Prisma darstellen: macht man also die Aussenfläche ab (Fig. 125) des Glases eben; so muss die konzentrische Linie hi sich in Form einer Schraubenlinie (*helix*) erheben. Ist α der Neigungswinkel dieser Schraubenlinie gegen die ebene Grundfläche oder der brechende Winkel des ringförmigen Prismas und n der Brechungskoeffizient des Glases; so wird jeder steil gegen das Prisma einfallende Strahl um den Winkel $(n - 1)\,\alpha$ abgelenkt. Damit nun das Objekt um die Augenaxe gedreht erscheine, muss die Ablenkung im direkten Verhältnisse zum Radius $ch = r$ stehen: die Neigung der Schraubenlinie hi muss also proportional zu r sein. Demgemäss muss die äusserste Schraubenlinie fg nocheinmal so steil ansteigen, als die in der Mitte des Radius cg liegende hi. Für diese mittlere Linie ist also die Erhebung kh (welche bei gleicher Neigung $\frac{1}{2}\,dg$ sein würde) gleich $\frac{1}{4}\,dg$. Man findet leicht, dass jeder Durchschnitt der inneren Glasfläche, wie z. B. cf oder cg, eine Parabel bildet: denn setzt man $ch = x$; so ist $kh = y$ proportional dem Quadrate von x; man hat also $y = ax^2$ und hierin wächst der Koeffizient a proportional mit dem Umdrehungswinkel um die Axe AB.

Fig. 124.

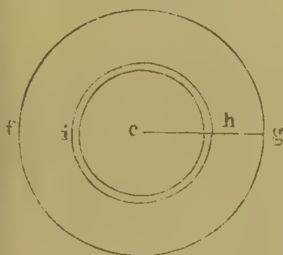
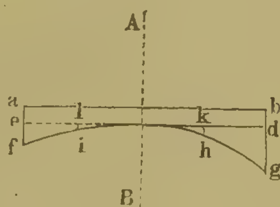


Fig. 125.



Ein solches helikoidisches Glas hat natürlich in der Richtung eines Radius cg eine vorspringende Kante, welche jedoch dem Gebrauche nicht sehr hinderlich sein wird. Ein Glas dieser Art wird nicht leicht herzustellen sein, da es nicht unmittelbar geschliffen, sondern vielleicht nur gegossen und nachgeschliffen werden kann.

Soll das Objekt gleichzeitig gedreht und verrückt werden; so muss die Vorderfläche ab nicht parallel zur Tangentialebene ed, sondern dagegen geneigt sein: das Glas muss also eine prismatisch-helikoidische Form haben.

Was die Fehler der ersten Klasse betrifft; so werden dieselben gewiss häufig durch Brillen zu verbessern sein, und jedenfalls ist es rationell, zunächst den Dienst dieses Hülfsmittels zu prüfen, ehe zu der in diesen Fällen unsicheren chirurgischen Operation geschritten wird. Es handelt sich in dieser Klasse um zwei Spezialitäten: erstens wenn die

Einstellung der Augenaxen in den richtigen Konvergenzwinkel und zweitens wenn die Akkommodation auf die richtige Entfernung den Muskelapparat zu einer abnormen Thätigkeit veranlasst, welche das richtige Ziel in einer gewissen Richtung entweder überschreitet oder dahinter zurückbleibt.

Trägt die Konvergenz der Augenaxen die Schuld an dieser abnormen Thätigkeit; so besteht die Hauptaufgabe in einer Ablenkung der einfallenden Strahlen, und Diess leistet die prismatische Brille. Man findet leicht, dass wenn der Muskelapparat durch jene Konvergenz zu stark in Anspruch genommen wird, wenn also die Augen einwärts schielen, eine prismatische Brille mit einwärts gekehrten dicken Seiten angewandt werden muss, indem solche Gläser den Konvergenzwinkel der ins Auge gelangenden Strahlen verkleinern, mithin den Reiz schwächen. Wird dagegen der Muskelapparat zu schwach in Anspruch genommen, schielen also die Augen auswärts; so ist eine prismatische Brille mit auswärts gekehrten dicken Seiten nöthig, damit der Konvergenzwinkel verstärkt wird.

Wo eine prismatische Brille anwendbar ist, gleichviel ob der Fehler der dritten oder der ersten Klasse angehört, kehren sich also die dicken Seiten der Gläser nach der Richtung, nach welcher die schielenden Augen von der normalen Stellung abweichen.

Trägt die Akkommodation auf die Entfernung die Schuld an der abnormen Thätigkeit des Muskelapparates; so ist prinzipiell auf eine Veränderung der Sehweite Betracht zu nehmen. Hierzu sind Sammel- oder Zerstreuungslinsen, also gewöhnliche Brillen erforderlich, und zwar Sammellinsen, wenn der Muskelapparat zu stark affizirt wird oder wenn die Augen einwärts schielen, also eine Vergrösserung der Sehweite, eine Hinausschiebung des virtuellen Bildes des fixirten Objektes, eine Verminderung der Akkommodationsthätigkeit nöthig ist (Fig. 126), dagegen Zerstreuungslinsen, wenn der Muskelapparat zu schwach affizirt wird oder wenn die Augen auswärts schielen, also eine Verkürzung der

Fig. 126.

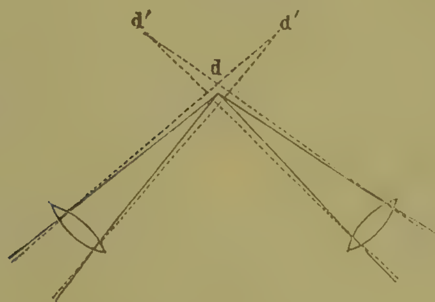
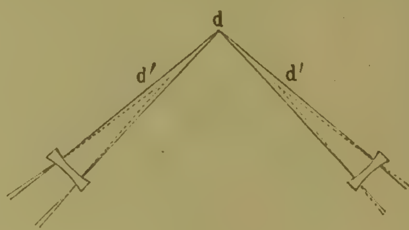


Fig. 127.



Sehweite, eine Heranrückung des virtuellen Bildes des fixirten Objektes, eine Verstärkung der Akkommodationsthätigkeit nöthig ist (Fig. 127).

Hieraus erklärt sich, warum solche Kurz- und Fernsichtige, welche ohne den Gebrauch einer Brille schielen, beim Gebrauche ihrer Brille

weniger stark schielen, auch warum normale Augen beim Blicke durch eine gewöhnliche Konvexbrille etwas auswärts und beim Blicke durch eine gewöhnliche Konkavbrille etwas einwärts schielen, indem sich dabei die Akkommodationsanstrengung resp. schwächt oder verstärkt.

In sehr vielen Fällen werden übrigens die beiden Spezialitäten der Fehler der ersten Klasse miteinander kombinirt erscheinen, d. h. es wird die bei der Fixirung eines Punktes erforderliche Einstellung der Augenaxen und Akkommodation auf die Entfernung gemeinschaftlich den Muskelapparat in gedachter Weise affiziren. Das Verhältniss, in welchem die Wirkung der ersteren Thätigkeit zu der der letzteren bei der Affektion des Muskelapparates steht, kann sehr variabel sein, immer wird aber Vergrösserung des Konvergenzwinkels denselben Effekt auf den Muskelapparat ausüben, wie Verkürzung der Sehweite, nämlich stärkere Reizung. Es kann sogar vorkommen und wird sich vielleicht sehr häufig ereignen, dass zwischen jenen beiden Thätigkeiten völlige Harmonie herrscht, dass also die abnorme Affektion des Muskelapparates durch die Fixirung des Objektes schlechthin erzeugt wird.

Hieraus folgt, dass in den meisten Fällen der Fehler der ersten Klasse die prismatische Brille mit der gewöhnlichen Brille kombinirt werden muss.

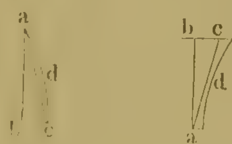
Im Allgemeinen sind bei einwärts schielenden Augen Prismen mit einwärts liegenden dicken Seiten mit Sammellinsen zu verbinden, bei auswärts schielenden Augen dagegen Prismen mit auswärts liegenden dicken Seiten mit Zerstreuungslinsen.

In welchem Verhältnisse der brechende Winkel des Prismas zu der Konvexität oder Konkavität der Linse stehen muss, hängt von dem Verhältnisse ab, in welchem der Muskelapparat resp. durch die Konvergenz der Augenaxen und durch die Akkommodation auf die Entfernung affizirt wird. Am besten und leichtesten ist jenes Verhältniss praktisch zu ermitteln, indem man prismatische Brillen von verschiedener Ablenkung mit Konvex- oder Konkavbrillen von verschiedener Stärke zusammen probirt, um zu ermitteln, mit welcher Kombination der beste optische Effekt erzielt wird.

Das aus einem prismatischen und einem gewöhnlichen Brillenglase zusammengesetzte Glas nenne ich ein Kombinationsglas und die hieraus bestehende Brille eine Kombinationsbrille.

Wenn der brechende Winkel und der Grad der Konvexität oder Konkavität festgestellt ist, kann man sich statt eines Doppelglases eines einfachen Glases bedienen, welches aus dem betreffenden Prisma *b a c* (Fig. 128) und einer an einer brechenden Fläche angelegten plankonvexen oder plankonkaven Linse *a d c* besteht. Wenn man will, kann man die Konvexität oder Konkavität auch an beiden Flächen des Prismas anbringen. Es ist jedoch immer darauf zu achten, dass die in der Mitte des Bogens *a d c* angelegte Tangente der Seite *a c* des Prismas parallel oder dass die volle Linie *ac* eine Sehne jenes Bogens sei (vergl. §. 50 No. 11).

Fig. 128.



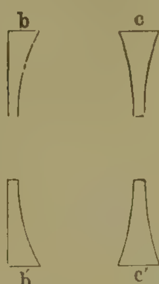
In allen Fällen handelt es sich um prismatische

Konvex- oder um prismatische Konkavgläser, welche die Formen aus Fig. 129 und 130 haben können. Solche Gläser können auch als exzentrische Stücke gewöhnlicher Sammel- oder Zerstreuungslinsen, wie $c\,g$ in Fig. 78 angesehen werden. Bei den Sammellinsen für einwärts schielende Augen liegt die dicke Seite immer nach innen, bei den Zerstreuungslinsen für auswärts schielende Augen dagegen nach aussen.

Fig. 129.



Fig. 130.



Wir kommen auf diese Gläser in §. 50 bei den Brillen für Kurz- und Fernsichtige zurück.

3. Die optischen Hülfsmittel zur Verbesserung des Seheffektes der schielenden Augen zweiter Klasse. Wir haben im Vorstehenden gefunden, dass ein Fehler der zweiten Klasse, nämlich ein Fall, wo das Schielen durch eine abnorme Ausbildung des Muskelapparates erzeugt wird, nicht durch optische Hülfsmittel beseitigt werden kann, dass also für einen solchen Fall nur die chirurgische Operation als einzig mögliches (wennauch nicht als unbedingt erfolgreiches) Auskunftsmittel zu Gebote steht.

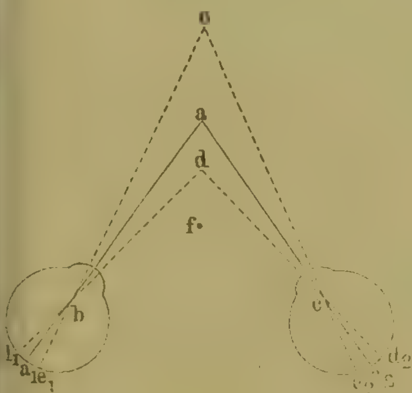
Indem wir das optische Hülfsmittel für einen solchen Fall als ganz unwirksam bezeichnen, müssen wir hervorheben, dass es sich bei der Aufhebung des Schielens um zwei verschiedene Dinge handelt, einmal um die Beseitigung des Schönheitsfehlers durch Geradestellung der geometrischen Axen der Augen und ferner um Beseitigung der Unvollkommenheiten des Sehens durch Erhöhung der Deutlichkeit. Nun können schielende Augen, deren Muskelapparat abnorm gebildet ist, durch optische Mittel nicht gerade gestellt werden: denn wenn die Augen z. B. einwärts schielen, also die Muskeln den Augen nicht gestatten, den Konvergenzwinkel soweit zu ermässigen, wie der Lichtreiz des Objektes es erfordert; so würde eine Brille, welche die Lichtstrahlen des Objektes einwärts ablenkte, den Augen eine noch grössere Veranlassung zum Einwärtsschielen geben, indem sie die Akkommodationsthätigkeit oder die Konvergenz der Augenaxen direkt erhöhte, während eine Brille, welche die Strahlen auswärts ablenkte, den Lichtreiz des Objektes verminderte, also die Augenmuskeln noch mehr ihrer schädlichen, konvergenzerhöhenden Wirkung überliesse. Jede Brille würde also das Schielen verstärken.

Eine andere Frage aber ist es, ob optische Mittel nicht im Stande sind, den Seheffekt zu erhöhen, selbst wenn die Augen fortfahren zu schielen oder wohl gar noch etwas stärker schielen. Diess ist unzweifelhaft der Fall: ja ich behaupte, dass jeder Effekt, welcher in Beziehung auf Deutlichkeit nach der gegebenen Beschaffenheit der Augen ins Bereich der möglichen Erreichbarkeit gehört, durch optische Hülfs-

ittel ohne Beihülfe einer chirurgischen Operation zu er-
·len ist.

Das wesentliche Hülfsmittel hierzu ist die prismatische Brille, elche jetzt aber in umgekehrter Stellung der Gläser gebraucht wer- n muss als vorhin. Wenn nämlich die Augen wegen abnormer Kürze der nach innen ziehenden Muskeln einwärts schielen, sich also statt auf das Objekt a auf den Punkt d richten (Fig. 131); so würde eine Brille, welche das virtuelle Bild von a weiter hinaus nach e verlegte, die zu stark nach innen ziehenden Muskeln noch nicht einmal in dem früheren Maasse affiziren, also nicht bewirken, dass diese Muskeln das Auge weniger stark nach innen zögen. Eine Brille dagegen, welche das virtuelle Bild des Objektes nach vorn und zwar noch diessseit von d nach f verlegt, wird ar die nach innen wirkenden Muskeln zu erhöhter Thätigkeit nöthigen: ein diese Thätigkeit ist lediglich durch die Akkommodation, nicht durch Abnormität des Muskelapparates bedingt: während dieselbe mit der rnäherung des Punktes f steigt, nähern sich die zu stark wirkenden iskeln immer mehr dem Punkte, wo sie vermöge der Augenstellung ht mehr abnorm in Anspruch genommen werden, wo also ihre Wir- ng normal wird. Wenn daher der Punkt f nahe genug genommen ; so werden sich die Augen auf ihn richten und sich auf ihn ak- mmodiren. Dieser Effekt wird nun durch eine prismatische lle mit auswärts gekehrten dicken Seiten erfüllt.

Fig. 131.



Im Allgemeinen muss im letzteren Falle, wo das scheinbare Objekt ier rücken soll, mit der prismatischen Brille eine Konkavbrille kombi- t werden, um den Effekt höchster Deutlichkeit zu erreichen. Ein- rts schielende Augen der zweiten Klasse bedürfen also, deutlich zu sehen, einer prismatischen Konkavbrille t auswärts gekehrten dicken Seiten, auswärts schielende gen dagegen einer prismatischen Konvexbrille mit ein- rts gekehrten dicken Seiten. Diess entspricht dem umge- hrten Gebrauche der Brillen im Vergleich zu den Fehlern der ersten l dritten Klasse. Man muss aber hervorheben, dass die zuletzt be- hteten Augen der zweiten Klasse beim Blicke durch die bezeichneten llen nicht aufhören zu schielen, sondern dass sie im Gegentheil stär- schielen, als ohne Brille, dabei aber mit dem höchsten erreichbaren de von Deutlichkeit sehen.

Es leuchtet ein, dass die letzten Brillen ebenso gut beim beweglichen ielen (*strabismus*) wie auch beim unbeweglichen Schielen (*lus- s*) anwendbar sind.

4. Indikation der chirurgischen Operation des Schielens.

den letzten beiden Nummern geht hervor, dass es zur Verbesserung

des Seheffektes niemals einer chirurgischen Operation b darf, dass dieser Effekt vielmehr durch geeignete Brillen erreicht werde kann. Die Operation des Muskelapparates hat also keinen anderen Nutze als die Beseitigung eines Schönheitsfehlers und die Befreiun von der Brille. Übrigens ist diese Operation für die Fehler der dri ten Klasse unbedingt unwirksam, für die Fehler der ersten Klas von schwachem und sehr unsicherem Erfolge und nur für die Fe ler der zweiten Klasse, wo der Muskelapparat abnorm gebild ist, rationell angezeigt. Da es sich jedoch in diesem Falle unter de günstigsten Umständen nur um die Verbesserung eines Schönheits fehlers handelt, während der Seheffekt auch durch Brillen zu erzi len ist; so wird es wichtig sein, dass sich der Operateur und der Patie das Sachverhältniss gehörig klar machen und dass möglichst einfache un zuverlässige Prüfungsmethoden, welche über die Natur des Fehlers Au schluss geben, ermittelt werden.

In letzterer Hinsicht haben wir zwar schon in §.11 No. 4 die wesen lichen Kennzeichen der drei Hauptklassen angegeben, bemerken aber noc dass statt aller direkten Untersuchungen der Augen sehr leicht konstati werden kann, ob ein Fehler der zweiten Klasse oder den übrigen Kla sen angehört.

Wenn nämlich irgend eine Kombination von prismatische Gläsern und Linsen fähig ist, die Axen der schielenden Auge gerade zu stellen, was sehr leicht zu ermitteln ist; so gehö der Fehler der ersten oder dritten Klasse an und die chiru gische Operation erscheint entweder wirkungslos oder doc von sehr ungewissem Erfolge. Wenn andererseits eine solc Brille den Augen möglichste Deutlichkeit verschafft, ohne d schielende Stellung zu verbessern; so gehört der Fehler de zweiten Klasse an: die chirurgische Operation ist alsdann i dizirt als Mittel gegen den im Schielen liegenden Schönheit fehler, womit, wenn die Operation glückt, zugleich Verbess rung des Seheffektes verbunden ist.

5. Bestimmung der bei der chirurgischen Operation des Schi lens zu durchschneidenden Muskeln. Es bleibt jetzt noch für ein Fall der zweiten Klasse, welcher zur chirurgischen Operation gezog werden soll, die Ermittlung der zu durchschneidenden Muskeln übrig.

Ist ein Muskel zu kurz oder zu weit nach vorn angeheftet; so wi er das Auge in der Richtung seiner Thätigkeit zu stark herum ziehe Eine Durchschneidung dieses Muskels bewirkt in der Regel eine Verlä gerung oder Anheftung an eine weiter zurückliegende Stelle und ka demnach häufig zur Verbesserung des Auges dienen. Ist ein Muskel z lang oder zu weit nach hinten angeheftet; so überwiegt sein Antag nist und müsste durchschnitten werden. Der letztere Fall ist gewiss nic so günstig wie der erstere, mag aber doch wohl die Operation rechtfe tigen.

Wenn ein Fehler der ersten Klasse, wo der Muskelapparat norm gebildet, aber abnorm gereizt wird, auf chirurgischem Wege beh delt werden soll, ist meines Erachtens der Erfolg viel zweifelhafter: d

uthmassliche Effekt stützt sich dann auf die Annahme, dass ein durchschnittener Muskel etwas an seiner Reizbarkeit verliere.

Für die Operation des Schielens ist also die Bestimmung der abnorm irkenden Muskeln von grösster Wichtigkeit. Wenn ich in §. 14 No. 3 bis 6 ie Ansicht geäussert habe, dass die bisherigen Annahmen über die Funkonirung der einzelnen Muskeln der Wirklichkeit nicht entsprechen; so t damit zugleich die Vermuthung ausgedrückt, dass manche Operationen adurch verfehlt oder doch nicht befriedigend ausgefallen sein werden, eil die falschen Muskeln durchschnitten sind. Diese Meinung ag auf den ersten Blick befremden, da man die zur Operation des Schiens erforderlichen Voruntersuchungen gemeinlich für so sicher hält, dass dieser Hinsicht Irrthümer nicht zu befürchten seien und man aus Obiem schliessen müsste, dass eine unrichtige Beurtheilung der Muskelfunkonen die Mehrzahl aller Operationen hätte zum Scheitern bringen üssen, was doch effektiv nicht der Fall ist.

Zur Erläuterung dieser Einwürfe mache ich darauf aufmerksam, dass i der Mehrzahl der Fälle das Schielen konvergent oder divergent t, dass dieser Fehler lediglich durch die inneren und äusseren geden Muskeln ohne Betheiligung der übrigen hervorgebracht wird und ss dieses Resultat näherungsweise auch den bisher angenommenen Vorssetzungen über die Bewegung der Augen entspricht. Nach Ruete, phthalmologie, Bd. 2, S. 496, waren an 99 fehlerhaften Augen 83 innere er äussere gerade Muskeln, 7 obere gerade, 6 innere gerade mit dem eren geraden, 1 äusserer gerader mit dem oberen geraden, 1 äusserer rader mit dem unteren geraden, 1 äusserer gerader mit dem inneren raden fehlerhaft. Hiernach ist es erklärlich, dass die meisten Operation gelingen, weil meistentheils die inneren oder äusseren geraden Muskeln lerhaft sind, und Diess am leichtesten erkannt wird.

Was jedoch die übrigen Fälle betrifft; so beweis't die Vertheidigung, lche Ruete auf S. 545 des eben gedachten Werkes der gleichzeitigen eration zweier Muskeln angedeihen lässt, indem er es für unverantrtlich erklärt, „dass man in der neuesten Zeit gegen diese in elen Fällen so segensreiche Operation von manchen Seiten e so arge Reaktion übe und dieselbe in jeder Beziehung verchtige,“ zur Genüge, dass man in diesen Fällen viele missglückte erationen zu beklagen haben wird.

Im Nachfolgenden gebe ich eine Übersicht der fehlerhaften Augenllungen, welche eine Folge der abnormen Kürze oder Kontraktilität der zelnen Augenmuskeln sind. Zunächst zählen wir die Fälle auf, wo nur n Muskel abnorm ist. Die daneben gesetzten Figuren stellen die Ansicht s Augenpaares von vorn, also so dar, wie der Operateur sie im Antlitze s Schielenden erblickt, das rechte Auge links und das linke rechts. Die pille ist als Rechteck wie im Ochsenauge gezeichnet, um die Verdregen deutlicher erscheinen zu lassen.

Zu kurzer Muskel	Stellung des Auges
1) innerer gerader	nach innen
2) äusserer gerader	nach aussen
3) oberer gerader	stark nach oben gerichtet und schwach nach innen verdreht
4) unterer gerader	stark nach unten gerichtet und schwach nach aussen verdreht
5) oberer schiefer	schwach nach unten gerichtet und stark nach innen verdreht
6) unterer schiefer	schwach nach oben gerichtet u. stark nach aussen verdreht

Aus den vorstehenden Wirkungen der einzelnen Muskeln setzen sich nun die Wirkungen zweier und dreier Muskeln leicht zusammen. Es würde zu weit führen, alle möglichen Kombinationen hier aufzuführen und dabei zugleich das Verhältniss zu berücksichtigen, in welchem diese Muskeln ihre abnorme Thätigkeit ausüben. Wir wollen uns daher auf die Anführung einiger wichtigen Fälle beschränken.

Zu kurze Muskeln	Stellung des Auges
oberer gerader (stark) unterer schiefer (schwach)	gerade nach oben
unterer gerader (stark) oberer schiefer (schwach)	gerade nach unten
oberer gerader (schwach) oberer schiefer (stark)	nach innen verdreht (ohne Verschiebung)
unterer gerader (schwach) unterer schiefer (stark)	nach aussen verdreht (ohne Verschiebung)

Will man sich die übrigen Fälle nicht durch Abstraktion bilden; so das nachstehend beschriebene Instrument geeignet, alles Wissenswerthe rch einen einfachen Mechanismus zur Anschauung zu bringen.

6. Das Okularium. Ein Apparat, welcher das Augenpaar mit sei-n hauptsächlichsten optischen Eigenschaften und Bewegungen darstellt, nicht bloss zur Veranschaulichung der Gesetze der physiologischen Op-instruktiv, sondern auch zur sicheren Erkenntniss der verschiedenen ugenfehler von grossem Nutzen. Namentlich wird der chirurgische erateur, für den die Sicherheit der Erkenntniss und die klare An-auung eines organischen Fehlers von hohem Interesse ist, in einem chen Instrumente eine erwünschte Hülfe finden. In Betracht der Un-änglichkeit des Ophthalmotropes (§. 14 No. 5) proponire ich zu diesem ecke unter dem Namen des Okulariums den in Fig. 132, 133, 134 gestellten Apparat (a. f. S.).

Das Okularium zeigt die beiden Augen a und a' in natürlicher Grösse l in natürlichem Abstande. Jedes Auge ist für sich um eine vertikale e ab, $a'b'$ drehbar. Ein an den Enden halbkreisförmig umgebogener gel $acbb'c'a'$ nimmt die Drehzapfen a, b und a', b' dieser Axen auf. . c und c' trägt dieser Bügel die daran befestigten Axen cd und $c'd'$, lche in der Richtung einer gemeinschaftlichen horizontalen Drehungsaxe $'$ liegen. Die Zapfen d und d' dieser gemeinschaftlichen Axe liegen d und d' in den Lagern des zum Untergestelle gehörigen festen Bügels.

Während um jede vertikale Axe ab und $a'b'$ das rechte und linke ge unabhängig von dem anderen gedreht werden kann, sind um die rizontale Axe dd' beide Augen nur gemeinschaftlich drehbar.

Jedes Auge ist normal zur Ebene der Figur in der Richtung der

Sehaxe nach Fig. 133 im Kaliber der Hornhaut durchbohrt. Das Bohrloch ist vorn durch den fest darin sitzenden Glaszylinder *ef* geschlossen, welcher an der Vorderfläche *e* nach der Krümmung der Hornhaut

Fig. 132.

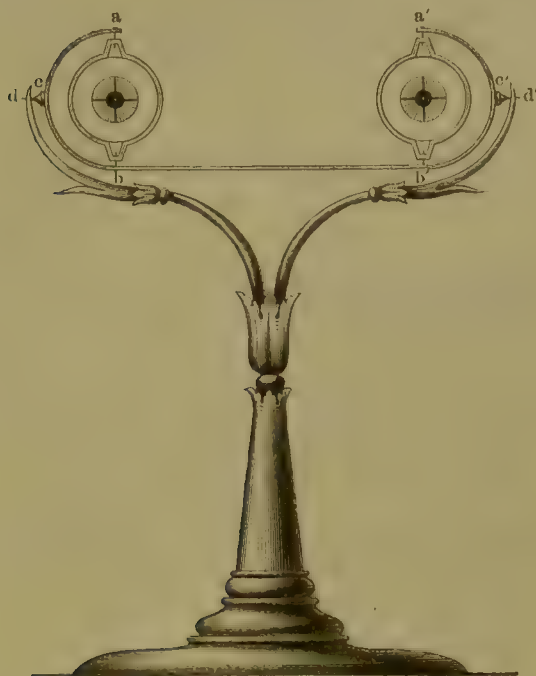


Fig. 133.

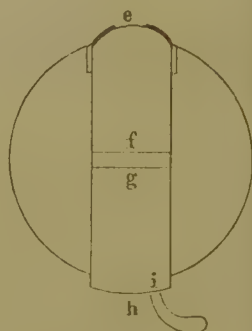
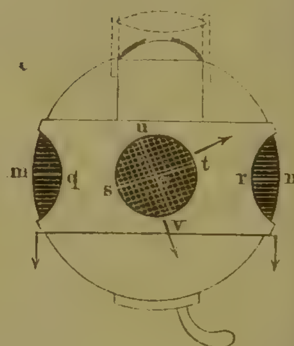


Fig. 134.



geschliffen und bis auf die Öffnung der Pupille mit einer die Iris vertretenden Blende versehen ist. Der vertikale und horizontale Meridian der Iris ist durch Linien markirt. Der hintere Theil des Bohrloches ist mit einem beweglichen Glaszylinder *g h* ausgefüllt. Dieser Zylinder ist an der Hinterfläche *h* matt geschliffen, um dem hinter dem Apparate stehenden Beschauer das darauf sich entwerfende Netzhautbild durch die Diffusion der rauhen Glasfläche zu zeigen. Der letztere Zylinder lässt sich mehr oder weniger herausziehen, um bei näher liegenden Objekten die Konzentration auf der Netzhaut zu bewirken, also die Akkommodationsveränderungen zu veranschaulichen. Das Herausziehen geschieht mittelst des Metallgriffes *i*, welcher zugleich den Sehnerven vertritt, dessen Befestigungspunkt *i* also den unempfindlichen Fleck darstellt. Der Pol *h* des Auges, in welchem der Mittelpunkt des Bezirkes des deutlichen Sehens und des gelben Fleckes liegt, sowie auch der vertikale und horizontale Meridian der Netzhaut ist an der Glasfläche *h* und an dem Augapfel markirt.

Um die Funktionen der Augenmuskeln, sowohl die normalen, wie die abnormen zu studiren, sind die vertikalen Drehaxen *a b* und *a' b'* nicht unmittelbar an der Kugel, welche den Augapfel darstellt, sondern an einem diese Kugel umschliessenden Metallgürtel *m n* (Fig. 134) befestigt, in welchem der Augapfel selbst nach allen Seiten hin drehbar ist.

Dieser Gürtel ist an vier Stellen, den beiden im horizontalen :rchmesser liegenden Stellen m, n und den im vertikalen Durchmesser genden Stellen o, p, also an den vier Angriffsstellen der Augenmuskeln :isförmig durchbrochen, sodass man durch diese Öffnungen auf den Aug- 'el sehen kann. Damit der Blick in die obere und untere Öffnung nicht ·ch die Befestigung der Drehaxen a und b verdeckt wird, sind diese en an Bügeln befestigt, welche von dem Gürtel entspringen, aber über Öffnungen o und p hinwegspringen. Die auf dem Gürtel gezeichneten ile zeigen die Richtungen an, in welchen die Augenmuskeln ziehend ken, indem sie sich kontrahiren.

Die vier Öffnungen m, n, o, p sind durch Glasplatten geschlossen. Auf unteren Flächen dieser Platten sind die auf der Zugrichtung der genmuskeln normal stehenden Meridiane mq, nr, st, uv u. s. w. und serdem Parallelen mit diesen Meridianen in nahen Abständen eingeätzt. sserdem sind auf dem in dem Gürtel liegenden Augapfel die vier Punkte n, o, p markirt.

Wenn der Augapfel in dem Gürtel gedreht wird, lässt sich an der rückung der unter m, n, o, p liegenden Punkte des Augapfels gegen betreffenden Linien mp, nr, st, uv u. s. w. sofort erkennen, in der :htung welcher Augenmuskeln die Bewegung stattgefunden hat die Abzählung der Theilstriche giebt zugleich das Maass für die ntraktion der betreffenden Muskeln an.

Um die Wirkung der verschiedenen Brillen und sonstigen Bewaff- ıgsmittel nachzuweisen, ist vorn um den Glaszylinder ein Schlitz ge- en, in welchen die hülsenförmige Fassung jedes beliebigen, durch die ktirten Linien dargestellten Glases eingeschoben werden kann.

Dass das Okularium zur Nachahmung einer grossen Zahl der opti- n Effekte, welche die Lichtstrahlen im Auge hervorbringen, geeignet und dass man durch Vorsteckung passend geformter Gläser auch die ewöhnlichen Effekte hervorbringen kann, bedarf keiner weiteren uterung.

§. 16.

ırtheilung der Entfernung. — Stereoskopisches Sehen.

1. **Antheil, welchen die Verdopplung der Augen am stereo- pischen Sehen nimmt.** Hier und da besteht die Meinung, die Ver- plung des Auges bewirke das stereoskopische Sehen oder die lichkeit, die Körperlichkeit der Gegenstände wahrzunehmen, indem linke Auge mehr von der linken Seite und das rechte mehr von der ten Seite eines Körpers erblicke.

Diese Ansicht ist irrig. Die Verdopplung des Auges erhöht aller- s den stereoskopischen Eindruck, bedingt ihn jedoch nicht funda- tal. Wir sehen die Gegenstände auch mit einem Auge perlich. Diese Thatsache genügt ganz allein, um die obige Meinung viderlegen.

Dass wir überhaupt mit einem Auge körperlich sehen oder di verschiedenen Entfernungen erkennen, ist eine Thatsache, welche sic Jedem sofort offenbart, der ein Auge schliesst und mit dem anderen Aug den Raum um sich herum betrachtet. Ein spezieller Nachweis für di ses Faktum ist daher nicht erforderlich: es ist aber nützlich zu bemerke dass einige Behauptungen, welche häufig gegen das Bestehen diese Thatsache angeführt werden, auf Täuschung beruhen.

Es ist bekannt, dass man beim Gebrauche eines Auges schwierige eine Nähnadel einfädeln kann als beim Gebrauche beider, dass ma überhaupt bei dem Versuche, eine feine Spitze, welche man in der Han hält, auf eine andere feine Spitze, welche fest steht, zu führen, leicht da Ziel verfehlt. Dieser Versuch soll die Unfähigkeit beweisen, mit eine Auge Entfernungen zu bestimmen. Meines Erachtens besweis't dieser Ve such schlagend das Gegentheil. Denn wenn man auch den feste Punkt mit der feinen Spitze nicht mit mathematischer Schärfe trifft; ist doch die Abweichung im Vergleich zu der Entfernung vo Auge so gering, das sie nur die Ungenauigkeit der Schätzung, ab gesehen von der Schärfe aber die prinzipielle Fähigkeit der Erkenn niss der Entfernung darthut. Mathematische Schärfe findet auch bei de Gebrauche beider Augen nicht statt: auch beim vollen Gebrauche alle Gesichtsorgane verfehlt man jenes Ziel, die Abweichung ist nur ge ringer wie beim Gebrauche eines Auges: beide Augen schätzen dahe eine Entfernung zwar schärfer aber nach keinem andern Prinzipe wie ein einzelnes Auge es thut.

Der eben beschriebene Versuch der Berührung eines festen Punkte mit einer Spitze beim Gebrauche eines Auges wird auch gewöhnlich m grosser Schnelligkeit der Handbewegung ausgeführt, welche dem Aug gar nicht die zum scharfen Sehen erforderliche Ruhe lässt. Durch dies zweckwidrige Verfahren bereitet man sich eigens die Selbsttäuschung denn das Treffen des festen Punktes bei so rascher Bewegung würd mehr die Handfertigkeit, als die Sehfähigkeit beweisen. Um e Urtheil über die Fähigkeit des Auges zu gewinnen, ist die Zeit, welc man zur Erreichung jenes Punktes gebraucht, ganz gleichgültig; ma wird aber finden, dass wenn man sich die nöthige Musse nimmt, d Punkt bei dem Gebrauche eines Auges, namentlich bei genügende Erleuchtung ebenso gut getroffen wird, wie bei dem Gebrauche beid Augen.

Wer von der Ansicht ausgeht, dass einem Auge die Fähigkeit d stereoskopischen Sehens nicht beiwohne, bedarf dann für die körperlic Erscheinung, welche der Gesichtsraum auch dem einen Auge, insbeso dere auch dem Einäugigen darbietet, einer besonderen Erklärung u glaubt dieselbe in dem Ausspruche zu geben, dass Diess auf Gewohnhe Übung, Erfahrung oder ähnlichen indirekten Ursachen beruhe. Allein W es für nöthig hält, durch diese oder andere Ursachen das stereoskopisc Sehen mit einem Auge zu erklären, hat die Thatsache und dam die Fähigkeit des Auges doch schon eingeräumt und sucht nur no nach dem Erklärungsgrunde. Wäre nun wirklich jene Fähigke des Auges erst aus Erfahrung oder anderen Ursachen entstanden; so läg darin doch noch immer nicht die Erklärung und Erläuterun

jener Fähigkeit selbst: die Frage, wie es zugehe, dass ein Auge körperlich sehen könne und überhaupt eine Entfernung schätzen könne, bliebe also genau auf demselben Standpunkte.

Obgleich es hiernach für unsere Aufgabe gleichgültig sein könnte, ob die fragliche Fähigkeit des Auges durch Erfahrung, überhaupt durch äussere Veranlassungen entstanden sei; so leugne ich Diess doch und behaupte, dass diese Fähigkeit eine dem Organismus als solchem primitiv zukommende Eigenschaft ist, welche zwar durch äussere Veranlassungen in ihrer Ausbildung unterstützt werden kann, welche aber in ihrem Grundwesen völlig selbstständig und mit dem Organismus gegeben ist.

Wie schon erwähnt, verleiht das Sehen mit beiden Augen der Vorstellung eine grössere Vollkommenheit; man findet, dass die Stereoskopien, welche für zwei Augen aufgenommen sind, eine deutlichere Anschauung gewähren, als ein einfaches perspektivisches Bild: alles Dieses hat jedoch seine besonderen Gründe, welche mit dem wahren Wesen des stereoskopischen Sehens nicht zu verwechseln sind.

Allgemein entspricht das Sehen mit beiden Augen dem normalen Vorgange; alle Gesichtsorgane werden dabei vollständig in Anspruch genommen; man sieht also mit beiden Augen stets leichter und vollkommener als mit einem Auge.

Insbesondere nehmen die Augen, wenn sie gemeinschaftlich sehen, wie schon in den vorhergehenden Paragraphen, besonders in §. 10, 12 und 13 erwähnt ist, den richtigen, sonst aber, wenn nur ein Auge sieht, einen zu schwachen Konvergenzwinkel an, was für eine energischere Affektion der Sehorgane bei dem Gebrauche beider Augen, also für ein vollkommeneres Sehen, insbesondere eine vollkommenere Auffassung der Entfernung spricht.

Dass die Konvergenz der Augenaxen für die Akkommodation auf die Entfernung, also das dabei in Betracht kommende Muskelgefühl für die Beurtheilung der Entfernung nur etwas Sekundäres, Unterstützendes, nicht aber das Wesentliche und Bedingende ist, geht auch noch daraus hervor, dass wenn man ein Objekt gleichzeitig mittelst eines bewaffneten und eines unbewaffneten Auges betrachtet, man zwei getrennte Bilder von verschiedener Grösse und Entfernung sieht, woraus folgt, dass sich jedes Auge für sich, das unbewaffnete auf das wirkliche Objekt und das bewaffnete auf das optische Linsenbild des Objektes, ein jedes also auf eine besondere Entfernung zu akkommodiren fähig ist.

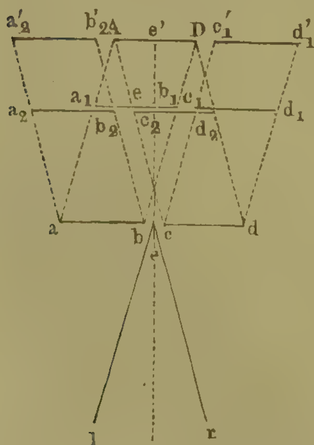
Endlich aber hebe ich hervor, dass wenn wirklich die Konvergenz der beiden Augenaxen das Urtheil über die Entfernung bedingte, jeder besondere Konvergenzwinkel doch nur eine einzige bestimmte Entfernung, nämlich die Entfernung des Kreuzungspunktes der beiden Augenaxen zur Erkenntniss bringen könnte. Woher kommt nun aber die gleichzeitige Erkenntniss der unendlich verschiedenen Entfernungen aller im Gesichtsraume liegenden Objekte oder das eigentliche stereoskopische Sehen? Da es unmöglich ist, dass diese verschiedenen und ganz beliebigen Entfernungen durch einunddieselbe Konvergenz gemessen werden können, so also die Erkenntniss der Entfernung aller neben der Augenaxe lie-

genden Objekte durchaus **nicht** auf dieser Konvergenz beruhen kann, sondern einen ganz anderen Grund haben muss; so würde es absurd sein, für den **einzigen** in der Augenaxe selbst liegenden Punkt jene Konvergenz als Prinzip anzunehmen. Offenbar kann für **alle** Objekte nur **ein** Grundprinzip bestehen. Ich stelle daher entschieden in Abrede, dass die Konvergenz der Augenaxen an sich **irgend etwas Prinzipielles oder Wesentliches mit der Beurtheilung der Entfernung zu thun habe** (vergl. übrigens Nr. 5 und 9 und §. 24 No. 4).

2. Das Stereoskop. Zur näheren Bestimmung des Effektes, welcher aus der gemeinschaftlichen Thätigkeit beider Augen in Beziehung auf den **stereoskopischen** Eindruck entspringt, kann man sich mit grossem Nutzen des **Stereoskopes** bedienen. Ich erlaube mir daher auf das Wesen dieses Apparates etwas näher einzugehen.

Eine Vorrichtung, welche jedem der beiden Augen ein besonderes Bild darbietet, ist in ihrem Grundprinzipe ein Stereoskop. Zu diesem Ende bedarf es nicht nothwendig eines geschwärzten Kastens mit Vergrösserungsgläsern. Man kann die beiden stereoskopischen Bilder frei in der einen Hand halten und indem man die andere Hand gegen die Nase lehnt, eine Zwischenwand zwischen beiden Augen bilden, welche verhindert, dass das rechte Auge direkt auf das linke und das linke Auge direkt auf das rechte Bild blicken kann. Bei dieser einfachen Operation kann man leicht die Bilder den Augen nähern oder entfernen, man kann dieselben leicht zusammen- oder auseinanderrücken und auch in vertikaler Richtung gegeneinander verschieben. Man wird bald das Bestreben der Augen empfinden, beide Bilder in ein einziges zu verschmelzen. Für einen gewählten gegenseitigen Abstand der beiden Bilder ist eine bestimmte Entfernung derselben von den Augen die günstigste. Dieselbe ist leicht gefunden. Schon bei der Annäherung an diese günstigste Entfernung drängen die beiden gesonderten Gesichtseindrücke unwiderstehlich zusammen, und nachdem sie sich vereinigt haben, besonders bei der günstigsten Entfernung, erhält man einen fast ebenso schönen und vollkommenen stereoskopischen Effekt wie mit dem erwähnten Instrumente.

Fig. 135.



Aber noch nicht einmal die vorhin erwähnte mittelst der Hand improvisirte Scheidewand zwischen beiden Augen ist erforderlich: bei einiger Übung findet man dieselbe entbehrlich, ja sogar störend. Um ohne alle weiteren Hülfsmittel einen vollkommenen stereoskopischen Eindruck zu empfangen, halte man das stereoskopische Doppelbild *ab*, *cd* (Fig. 135) frei vor das Gesicht (die auf die Betrachtung durch Vergrösserungsgläser berechneten Bilder müssen bei der Betrachtung mit blossen Augen im Allgemeinen aus **grösserer** Sehweite betrachtet werden). Solange man die Augen auf einen Punkt *e* der Bildfläche akkommodirt, sieht man von dem Objekte ein mangelhaft körperliches

Doppelbild. Akkommodirt man die Augen für einen jenseit der Bildfläche liegenden Punkt e_1 (was man bald lernt); so verdoppelt sich das Doppelbild (man sieht das Objekt vierfach). Das dem linken Auge entsprechende Doppelbild verschiebt sich nach rechts in die Lage $a_1 b_1$, $c_1 d_1$ und das dem rechten Auge entsprechende verschiebt sich nach links in die Lage $a_2 b_2$, $c_2 d_2$; die beiden mittleren $a_1 b_1$, $c_2 d_2$ überdecken sich also theilweise. Jetzt kömmt es bloss darauf an, den Punkt, für welchen man die Augen akkommodirt, so weit, in e', zu wählen, dass die eben erwähnten beiden mittleren Bilder in AD sich decken. In dem Momente, wo Diess geschieht, und wenn man jenem Punkte nahe ist, macht sich ein starkes, willenloses Bestreben der Augen zur Erreichung jenes Punktes oder zur Zusammenführung der beiden Bilder geltend, verwandelt sich der bis dahin undeutliche Gesichtseindruck in einen vollkommenen stereoskopischen. Seitwärts sind zwar die beiden einfachen Bilder $a_2' b_2'$ und $c_1' d_1'$ sichtbar: allein denselben wendet sich die Aufmerksamkeit nicht zu.

In dem eben beschriebenen Momente, wo die beiden Mittelbilder sich decken, geht ein deutlich fühlbarer Prozess in den Augen vor sich. Derselbe besteht darin, dass jetzt die vollkommene Akkommodation in Folge der Affektion der korrespondirenden Nervenfasern in beiden Augen nicht bloss für den einzelnen Punkt e', sondern für die Totalität des körperlichen Objektes AD eintritt. Sowie dieser Akt vollbracht ist, welcher das Resultat der korrespondirenden Reize der zusammengehörigen Lichtstrahlen und demgemäss unwillkürlich ist, erweckt die Festigkeit Erstaunen, womit die verschmolzenen Mittelbilder ihre Vereinigung festhalten (vergl. §. 13).

3. Wirkung der Verschiebung der Bilder. Gehen wir nun näher auf die Effekte ein, welche von der relativen Stellung der beiden Theile eines stereoskopischen Doppelbildes abhängen.

Man überzeugt sich bald, dass man die beiden Bilder gegeneinander verschieben, ja sogar miteinander verwechseln kann, ohne dass der stereoskopische Eindruck aufhört und dass dieser Eindruck in Beziehung auf Körperlichkeit immer kräftiger ist, als beim Anblicke eines Bildes mit einem Auge. Allein jede Verschiebung der Bilder erzeugt ein anderes perspektivisches Bild, verändert die räumlichen Verhältnisse des Objektes und des zwischen ihm und uns liegenden Raumes. Soll also der Anblick der beiden Bilder genau dasjenige Objekt reproduziren, von welchem dieselben die den beiden Augen in der Wirklichkeit entsprechenden Ansichten darstellen; so müssen diese Bilder in einen ganz bestimmten gegenseitigen Abstand und in eine bestimmte Entfernung vom Auge gebracht werden.

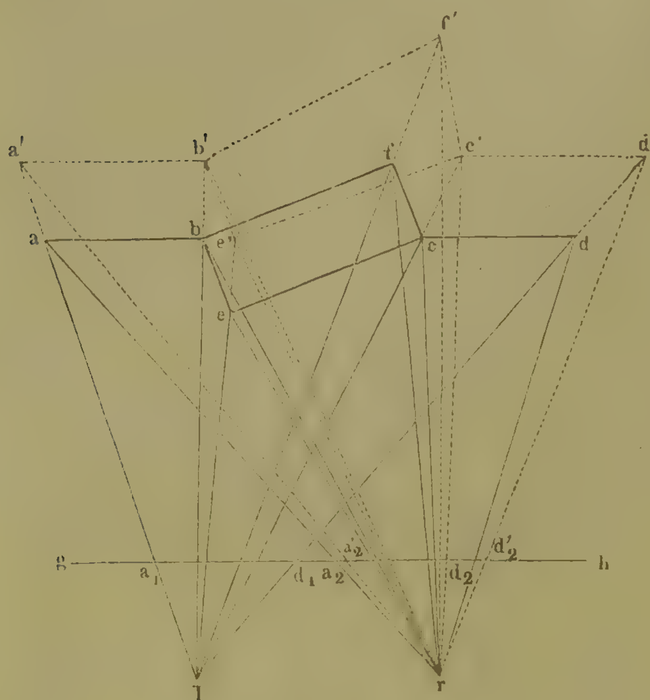
Fig. 136 (a.f.S.) stelle im horizontalen Grundrisse das Objekt $abcdef$, das linke und rechte Auge l, r und die Bildfläche gh dar. Zieht man von l und r nach allen Punkten des Objektes gerade Linien; so ergeben die Durchschnitte dieser Linien mit der Ebene gh die beiden stereoskopischen Bilder $a_1 d_1$ und $a_2 d_2$.

Nur dann, wenn man die beiden Bilder in die gezeichnete Stellung gegen einander und gegen die beiden Augen bringt, erzeugt sich das richtige stereoskopische Bild des gegebenen Objektes.

In jeder anderen Stellung erhält man ein stereoskopisches Gesammtbild, aber nicht von dem gegebenen, sondern von einem anderen Objekte.

Rückt man die beiden Bilder auseinander, schiebt man also das rechte $a_2 d_2$ weiter rechts nach $a_2' d_2'$ (wobei das linke Bild liegen bleiben oder nach links oder etwas weniger nach rechts verschoben werden mag), so entfernt sich das Objekt vom Auge und vergrössert sich, indem dasselbe in die Form $a'b'c'd'e'f'$ übergeht. Die in gleicher Entfernung oder in einer Vertikalebene liegenden Punkte a, b, c, d rücken gleich weit zurück und jede vertikale (auf der Augenaxe normal stehende) Figur vergrössert sich gleichmässig, bleibt sich also ähnlich. Die entfernteren Punkte f rücken verhältnissmässig mehr und die näheren e weniger zurück. Hierdurch werden zurückspringende Winkel bfc kleiner und vorspringende Winkel bec grösser. Konkave Objekte werden hierbei also tiefer, konvexe dagegen flacher und es tritt eine Verzerrung in der Richtung der Sehlinie ein.

Fig. 136.

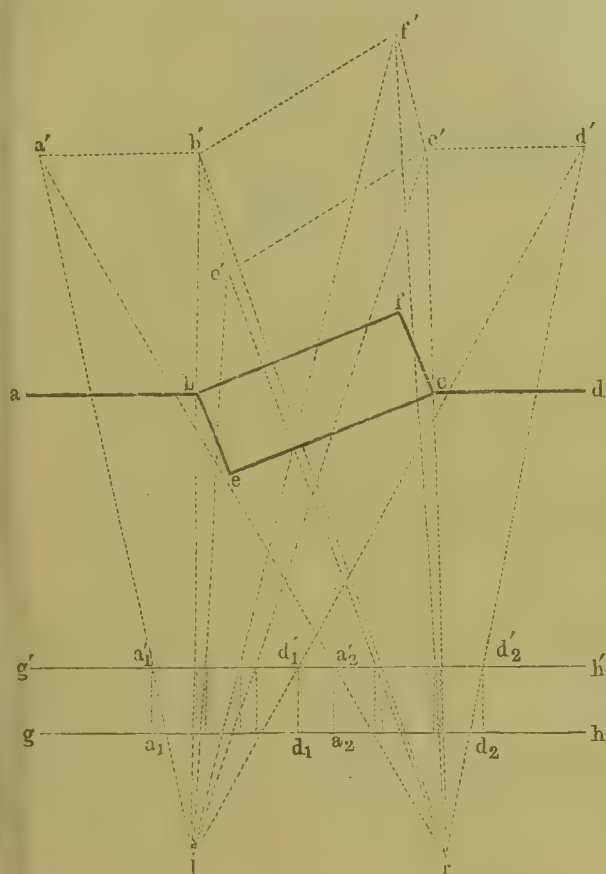


Rückt man die Bilder näher zusammen; so ergiebt sich das Entgegengesetzte. Das Objekt nähert sich dem Auge und verkleinert sich. Vertikale Figuren bleiben sich ähnlich. In der horizontalen Dimension der Sehlinie treten konvexe Figuren stärker hervor, konkave dagegen werden flacher.

Wenn man die beiden Bilder $a_1 d_1$, $a_2 d_2$, ohne ihren gegenseitigen Abstand zu ändern, parallel zur Sehaxe nach $a_1' d_1'$, $a_2' d_2'$ fortrückt (Fig. 137); so entfernt sich das Objekt $a' b' c' d' e' f'$ vom Auge, jedoch ohne sich zu vergrössern. Alle Punkte desselben rücken parallel vor; die entfernteren jedoch mehr als die näheren und Diess hat zur Folge, dass alle vertikalen Figuren ungeändert bleiben, dass jedoch in der Dimension der Sehaxe sowohl alle Konkavitäten, wie auch alle Konvexitäten stärker hervortreten, wobei die vor- und

zurückspringenden Winkel $b' c' c'$ und $b' f' c'$ sich verkleinern, also immer eine Verzerrung entsteht.

Fig. 137.



Nähert man beide Bilder dem Gesichte, so behalten wieder alle vertikalen Figuren die ursprüngliche Form und Grösse, die Erhabenheiten und Vertiefungen werden aber flacher.

Wenn die Verrückung in der Richtung der Sehlinie zu gross wird, entstehen in den Augen keine scharfen Netzhautbilder und Diess setzt der Verrückung eine praktische Grenze sowohl in Beziehung auf Annäherung, als in Beziehung auf Entfernung.

Wenn die relative Verschiebung der beiden Bilder gegeneinander zu gross wird, fällt der Punkt, auf welchen sich die Augen akkommodiren müssen oder die scheinbare Entfer-ung des Objektes soweit hinaus oder so nahe heran, dass ein deutliches ehen nicht mehr möglich ist oder dass die Augen die erzwungene künstche Akkommodation und Konvergenz nicht mehr zu Stande bringen önnen. Diese Verschiebung hat also ebenfalls ihre Grenze.

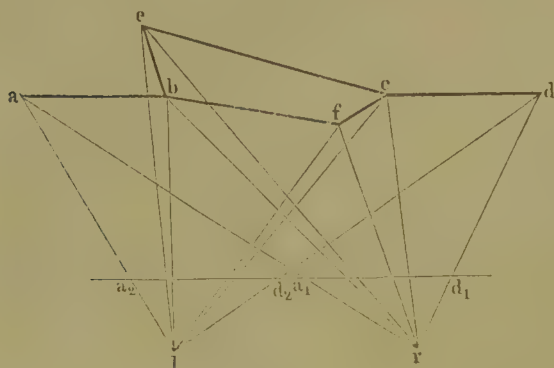
In Beziehung auf die letztere Verschiebung sind übrigens noch zwei on besonderem Interesse.

Rückt man die beiden Bilder immer näher zusammen, so nähert ch das Objekt dem Auge. Endlich wird dasselbe undeutlich. Verschiebt an nun die Bilder in derselben Richtung so weit, dass das rechte nks und das linke rechts zu liegen kömmt (Fig. 138 a. f. S.); so itsteht wieder ein deutliches stereoskopisches Objekt. An diesem Objekte *bcdef* sind alle vertikalen Figuren wiederum vertikal und den naurlichen ähnlich: allein in Beziehung auf die Dimensionen in der Richung der Sehlinie, so kehrt sich das Bild um; die Erhabenhein werden zu Vertiefungen und die Vertiefungen zu Erhabeneiten und verzerren sich hierbei.

Um ein solches verkehrtes Objekt deutlich zu sehen, müssen die bei-

den Bilder in der Regel näher zusammen liegen und auch dem Auge mehr genähert sein, als es bei dem richtigen Objekte der Fall ist.

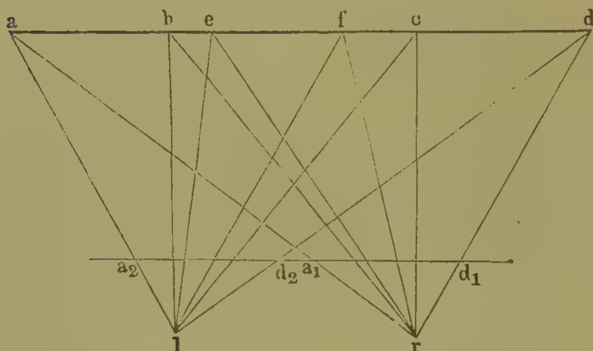
Fig. 138.



Der Eindruck dieses umgekehrten Objektes ist gewöhnlich kein natürlicher, auch meistentheils ein unvollkommener, indem die Umkehrung zuweilen nur partiell erscheint. Diess hat seinen Grund darin, dass die Lichter und Schatten und die Farbenintensitäten zu dem verkehrten und verzerrten Objekte nicht passen und dass diese Elemente in manchen Partien den entgegengesetzten Eindruck aufrecht erhalten. In allen den Theilen des Bildes, wo die Licht- und Schattenwirkung auf die Augen stärker ist, als die der Gestalt, erscheint das Objekt recht und in den übrigen Theilen verkehrt.

Der zweite interessante Fall ist der, wo man beiden Augen zwei identische Bilder vorhält (Fig. 139). Wenn man durch richtige Akkommodation und Konvergenz der Augen die gehörige Verschmelzung herbeiführt; so erscheint doch immer nur ein ebenes oder flaches Bild, welches dem gegebenen ähnlich ist.

Fig. 139.

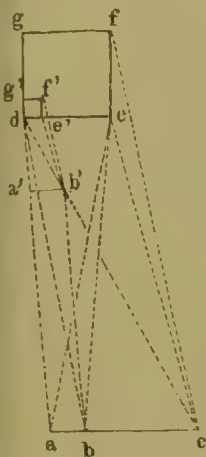


Durch zwei gleiche ebene Bilder kann also kein stereoskopischer Eindruck hervorgebracht werden. Wenn dessenungeachtet ein solcher entsteht; so wird derselbe lediglich durch die Licht- und Schattenwirkung erzeugt. In der That genügt ja diese Wirkung, um ein einfaches perspektivisches ebenes Bild, welches mit einem Auge zu betrachten ist, körperlich erscheinen zu lassen, und in allen Fällen liefert das zuletzt beschriebene Experiment mit zwei gleichen perspektivischen Bildern vermöge des Gebrauches der beiden Augen immer noch einen besseren stereoskopischen Eindruck, als es durch ein einfaches perspektivisches Bild bei dem Gebrauche nur eines Auges erzeugt werden kann.

4. **Abweichung von der Naturwahrheit.** Schliesslich mache ich darauf aufmerksam, dass die photographische Stereoskopie den stereosko-

pischen Eindruck auf Kosten der Naturwahrheit in der Weise erhöht, dass sie uns nicht das Bild eines Gegenstandes in seiner wirklichen Grösse, sondern das eines verkleinerten Objektes vorführt. Denn wenn *defg* (Fig. 140) der aufzunehmende Gegenstand und *a*, *b* die Augenstellung des Beschauers ist; so nimmt der Photographist, nachdem er das erste Bild des Objektes für den Standpunkt *a* aufgenommen hat, das zweite nicht für den Standpunkt *b*, sondern für einen sehr viel weiter davon liegenden Standpunkt *c* auf. Das zweite Bild zeigt uns daher von dem Objekte Seiten, welche das rechte Auge gar nicht zu sehen vermag.

Fig. 140.



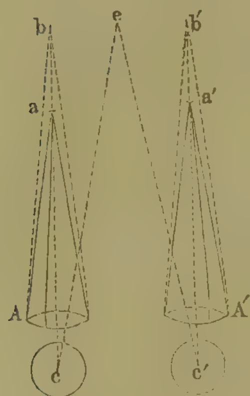
Der durch solche Doppelbilder erzeugte stereoskopische Eindruck ist folgender. Wenn bb' parallel zu ad bis zur Durchschneidung der Linie cd gezogen ist, also $a'b' = ab$ gleich dem Abstande beider Augen voneinander, wenn ferner $de'f'g'$ ein dem gegebenen ähnliches, aber in dem Verhältnisse der Abstände $ab : ac$ verkleinertes Objekt ist; so erhalten wir durch die Betrachtung der stereoskpischen Doppelbilder die Vorstellung des verkleinerten Objektes $de'f'g'$, welches wir in grösserer Nähe da' zu sehen glauben.

Die Annäherung $da' : da$ findet genau in demselben Verhältnisse statt, wie die Verkleinerung $de' : dc$; der Sehwinkel des Objektes bleibt also ungeändert. Wäre daher die allgemeine Meinung richtig, dass die Vorstellung von der Grösse eines Objektes lediglich vom Sehwinkel abhinge; so müsste das vorstehende Verfahren uns den Gegenstand in seiner natürlichen Grösse erscheinen lassen. Wie ich weiter unten, besonders in §. 18 und 24 zeigen werde, ist Diess jedoch keineswegs der Fall: ein kleinerer Gegenstand erscheint uns auch dann noch kleiner, selbst wenn derselbe uns in dem Verhältnisse seiner Verkleinerung näher gebracht wird. In der That geben die stereoskopischen Photographien den Gegenstand nicht in seiner natürlichen Grösse und Entfernung wieder. Erwachsene Menschen erscheinen uns wie Kinder, Kinder wie Puppen, Gebäude und Berge wie kleine Modelle davon und Alles glauben wir in grosser Nähe vor uns zu sehen. Diese Naturwidrigkeit steht in dem Verhältnisse, in welchem die Verrückung ac des photographischen Instrumentes zu der Augenweite ab steht. Soll das Stereoskop genau den natürlichen Eindruck hervorbringen; so müssen folgende Bedingungen erfüllt werden. Zunächst muss das Objekt aus zwei Stellungen aufgenommen werden, welche genau um den Abstand der beiden Augen voneinander differiren, was für entfernte Objekte nahezu zwei identische Bilder giebt. Dieses stereoskopische Doppelbild muss alsdann durch Gläser betrachtet werden, welche den Effekt haben, von jenem Doppelbilde zwei virtuelle Bilder zu erzeugen, welche nicht bloss auf die natürliche Grösse vergrössert sind, sondern auch in der natürlichen Entfernung liegen und sich decken.

Unter solchen Umständen akkommodiren sich die Augen, welche sich selbstredend stets auf das virtuelle Bild richten, auf dieses Bild ganz genau so, wie sie es auf das wirkliche Objekt thun würden und nehmen dabei auch die natürliche Konvergenz an.

Um die Vergrösserung zu erzielen, müssen die Gläser A, A' (Fig. 141) Konvexlinsen sein. Läge die Axe einer solchen Linse in der Richtung des vom Punkte a ausgehenden Hauptstrahles; so fiele das virtuelle Bild von a in der Richtung dieses Strahles hinaus nach b. Lägen also die Axen der Linsen A und A' auch in den Axen der Augen c und c'; so müssten sich die Augen parallel stellen und doch auf die Entfernung cb akkommodiren. Diess wäre ein naturwidriger Zustand; die Axen der Linsen dürfen also nicht in den Augenaxen liegen: vielmehr müssen die Linsen entsprechend weiter auseinander gerückt werden, sodass die Augen durch die inneren Randpartien blicken. Noch besser ist es aber, die äusseren Randtheile der Linsen ganz abzuschneiden, wodurch sich die Linsen in prismatische oder exzentrische Linsen mit auswärts liegenden dicken Enden verwandeln. Solche Gläser lenken die von a kommenden Strahlenbündel so ab, dass sie von dem Punkte e herzukommen scheinen, oder dass die virtuellen Bilder von a und a' in e zusammenfallen. In diesem Falle nehmen die Augenaxen die richtige Konvergenz cec' an.

Fig. 141.



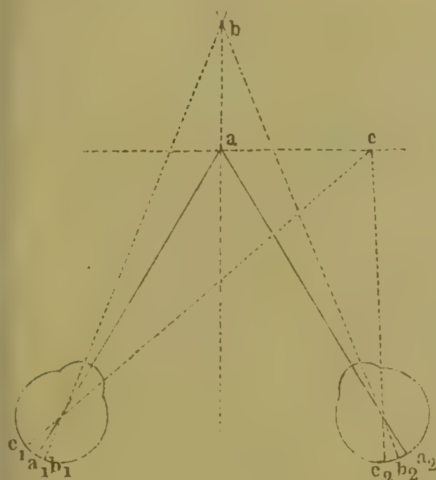
5. Grund, welcher beim Sehen mit zwei Augen den stereoskopischen Eindruk erhöht. Wir haben uns durch Vorstehendes überzeugt, dass der Gebrauch beider Augen den stereoskopischen Eindruck erhöht, jedoch nicht ausschliesslich und nicht grundsätzlich bedingt, da ein Auge ebenfalls stereoskopisch sehen kann.

Für die Erhöhung oder Vervollkommung des stereoskopischen Eindruckes beim Gebrauche beider Augen haben wir den Grund angegeben, dass der in seinen Aussentheilen doppelt organisirte Gesichtssinn beim Gebrauche beider Augen von beiden Seiten, also symmetrisch und überhaupt vollständiger affizirt wird. Diese vollständigere Affektion des Gesichts bewirkt ausserdem eine vollkommenere Akkommodation und verbessert den stereoskopischen Eindruck in der Weise, dass sie die Gesammtvorstellung deutlicher und kräftiger macht, also die Unterscheidung oder das Verständniss erleichtert.

Dieses vollkommenere Sehen mit zwei Augen beruht wesentlich auf der gleichen Affektion korrespondirender Netzhautstellen (§. 13). Bei einem ausgedehnten, und namentlich bei einem körperlichen Objekte kann es zwar nicht in aller Strenge erreicht werden, dass die gleichen Strahlenkegel genau auf korrespondirende Netzhautpunkte treffen: allein wennauch in dieser Hinsicht nicht die höchtse Vollkommenheit erreicht wird; so bewirkt doch die Annäherung daran eine wesentliche Erhöhung des Effektes.

Beim Gebrauche **beider** Augen, welche den Punkt a fixiren (Fig. 142), erzeugt nämlich jeder Objektpunkt b zwei Netzhautbilder b_1, b_2, welche im Allgemeinen **nicht** auf **korrespondirende**, sondern auf **differente** Netzhautstellen fallen. Liegt das Objekt c **seitwärts** vom fixirten Punkte a, in einer durch a gehenden Vertikalebene; so ist die Differenz der Netzhautpunkte b_1, b_2 nicht so bedeutend, als wenn das Objekt b vor oder **hinter** dem fixirten Punkte liegt: die Differenz der Netzhautstellen wird also vornehmlich durch die Verschiedenheit der **Tiefendimension** oder der **Körperlichkeit** des Objektes bedingt.

Fig. 142.



Die Augen haben nun das **Bestreben**, sich so zu stellen, dass leiche Bilder auf gleiche Netzhautstellen fallen: wenngleich dieses Betreben nicht für alle Punkte des Objektes in **Erfüllung** gehen kann; o ist die **Tendenz** hierzu doch eine Thätigkeit von ganz bestimmter ichtung, welche den **Erfolg** näherungsweise ersetzt, ja welche diesen rfolg bei wenig abweichenden Punkten sogar vermöge der **Verschieblichkeit der Stäbchen** (§. 21 No. 7.) wirklich erreicht, und welche ı allen Fällen die **Akkommodation** vervollkommnet.

Beim Sehen mit **einem** Auge findet eine solche Thätigkeit, also auch ne so vollkommene Akkommodation nicht statt. Das **eine** Auge ist soar unfähig alle diejenigen Punkte zu sehen, welche mit zwei Augen sichtar sind. Denn alle Punkte, welche in einer durch den Kreuzungspunkt nes Auges gehenden geraden Linie wie $a_1\, a$ oder $b_1\, b$ oder $c_1\, c$ liegen, **erdecken sich einander für dieses Auge** oder werfen ihre Bilder auf nselben Netzhautpunkt a_1, b_1, c_1. Beim Sehen mit **einem** Auge ist also on allen diesen Punkten nur ein einziger sichtbar: beim Sehen mit zwei ugen jedoch nicht. Mit anderen Worten, dem **linken** Auge erscheint ne gerade Linie wie $a_1\, a$ oder $b_1\, b$ oder $c_1\, c$ als **Punkt**, **beiden Augen** sammen erscheint dieselbe jedoch als **Linie**.

Alle diese Vortheile des Sehens mit beiden Augen (von welchen der tztere schon in §. 10 No. 1 angeführt zu werden verdient hätte) betref- n aber nur die **vollkommnere Affektion** des Gesichtsorgans oder gewähren diesem Organe die Möglichkeit, die ihm innewohnenden räfte vollständiger und dem äusseren Impulse entsprechender zu äussern: ese **Kräfte selbst** und die Prinzipien, nach welchen sie wirken und m Geiste die Erkenntniss der Eigenschaften der äusseren Dinge verschaf- ı, sind ganz und gar davon unabhängig. Mit beiden Augen wird uns ne bessere **Gelegenheit** gegeben, die **Entfernung** der verschiedenen nkte des Gesichtsraumes zu erkennen; der **materielle Prozess** jech, auf welchem diese Erkenntniss beruht, ist vom Sehen mit **beiden** ugen ganz unabhängig und findet, wenngleich in etwas mangelhafterer

Entwicklung, grundsätzlich ebenso auch beim Sehen mit einem Auge statt.

6. **Kritische Untersuchung der Grössen und Funktionen, auf welchen die Erkenntniss der Entfernung beruhen könnte.** Was nun die eigentliche, auch beim Sehen mit einem Auge wirksame Ursache des stereoskopischen Sehens betrifft; so kann dieselbe nicht nach der Ansicht Einiger als eine Sache der Erfahrung, insbesondere als das Resultat der Vergleichung mit den Zeugnissen anderer Sinne, z. B. des Tastsinnes, angesehen werden. Denn mit demselben Rechte, mit welchem man die Beurtheilung der Entfernung der Erfahrung überantwortete, müsste man auch die Beurtheilung der Farbe und der Lichtstärke hierdurch erklären. Diess ist offenbar unzulässig: denn wenn es auch über die Entfernung noch andere Zeugnisse als das Auge giebt, an welchen sich Letzteres bilden könnte; so ist Diess doch mit der Farbe nicht der Fall, und ausserdem müsste die Erfahrung der verschiedenen Menschen in dieser Hinsicht bedeutend voneinander abweichen. So zeigt sich, dass der Fehler eines Auges, welches keinen richtigen Farbensinn hat, durch keine Beschreibung, Überlegung, Erfahrung oder sonstige moralische Hülfsmittel beseitigt werden kann.

Ehe wir weitergehen, machen wir folgende zwei Bemerkungen. Die Fähigkeit, stereoskopisch zu sehen, ist mit der Fähigkeit, die Entfernung oder Sehweite oder Tiefe des Gesichtsraumes zu erkennen, gleichbedeutend. Nur indem wir wahrnehmen, dass die verschiedenen Punkte eines Gegenstandes in verschiedenen Entfernungen liegen, erscheint derselbe uns körperlich. Die mit zunehmender Entfernung sich vermindernde Lichtstärke, sowie die Licht- und Schattenwirkung und andere Farbeneffekte sind mit der Körperlichkeit eng verbunden und erhöhen, wenn sie dem gereiften Verstande erfahrungsmässig erst bekannt geworden sind, die Deutlichkeit; allein sie bilden durchaus nicht das wesentliche Merkmal der Körperlichkeit. Letzteres liegt, wie schon erwähnt, nur in der Empfindlichkeit des Auges für die Entfernung. Diese Empfindlichkeit bildet sich, wie jedes andere körperliche Vermögen erst mit der Zeit am Menschen aus: allein diese Ausbildung ist nicht Sache der Erfahrung, sondern nur Sache der natürlichen Entwicklung des Organismus. Dem Säugling fehlt noch die Fähigkeit, das Auge genau zu akkommodiren; derselbe kann weder sein Auge gehörig richten, noch Entfernungen richtig schätzen, ja überhaupt nicht deutlich sehen: kein Gegenstand erweckt seine Aufmerksamkeit und später greift er nach dem Monde, wie nach einem nahen Körper. Indem die Fähigkeit, eine Entfernung zu schätzen, wächst, bildet sich von selbst die Fähigkeit, die Gegenstände in ihrer Körperlichkeit zu erkennen.

Ich widerspreche also der ziemlich verbreiteten Ansicht, dass die Schätzung der Entfernung oder das stereoskopische Sehen eine durch Erfahrung und Übung erworbene Fähigkeit sei, etwa wie die Kenntniss der lateinischen Sprache oder die Fähigkeit Klavier zu spielen; ich halte jene Fähigkeit vielmehr für eine dem animalischen Organismus innewohnende Grundeigenschaft, welche durch Entwicklung des Organismus sich ausbildet und durch Erfahrung und Übung nur indirekt

gefördert werden kann. Dem Gebrauche eines Organs zu einem gewissen Zwecke muss offenbar die Fähigkeit des Gebrauches zu diesem Zwecke vorausgehen; eine Grundeigenschaft kann auf keine Weise von aussen zugetragen oder erworben werden, sie muss als wesentliche Existenzbedingung eines Organs von vorn herein vorhanden und nur der natürlichen Entwicklung bedürftig sein. Durch die Erlernung einer fremden Sprache oder des Klavierspielens erwerben wir keine neue Grundeigenschaft; besässen wir nicht von vorn herein die Fähigkeit zu sprechen und zu reflektiren, zu hören und zu tasten, wir würden diese Grundeigenschaften niemals durch den Gebrauch uns aneignen, sondern nur verbessern können. Die Erlernung einer fremden Sprache und einer Kunstfertigkeit ist nur eine spezielle Ausbildung einer bei jedem Menschen vorhandenen Fähigkeit. Ebenso wird der Mensch durch Übung sich ein sichereres Urtheil über die Entfernungen, ein schärferes Auge verschaffen, also die Fähigkeit des Tiefensehens vervollkommnen, nicht aber diese Fähigkeit an sich erwerben können. Die Erkenntniss der Entfernung mit höherem oder niedererem Grade der Vollkommenheit wohnt wie die Fähigkeit Schmerzen zu empfinden und nach ihrer Intensität zu unterscheiden, Töne zu hören, die Glieder zu gebrauchen, Athem zu holen u. dgl. jedem Menschen, sogar dem Blödsinnigen inne. Der Ochs hat ein Auge wie wir und erkennt damit, wie sich aus seinen Handlungen ergiebt, die Entfernung: es ist aber nicht seine Gewohnheit, Gegenstände zu betasten, auch scheint er sich nicht viel mit Abstraktionen zu befassen, ihm stehen also die Hülfsmittel nicht zu Gebote, welche den Menschen zu jener Fähigkeit verhelfen sollen. Da er diese Fähigkeit dennoch besitzt; so müssen wohl die erwähnten Hülfsmittel und sonstigen Kontrolmaassregeln unwesesentlich sein.

Die zweite Bemerkung besteht darin, dass wir in aller Schärfe und Vollkommenheit, sowie mit vollständiger Erkenntniss aller in Frage kommenden Eigenschaften, als Richtung, Entfernung, Lichtstärke und Farbe nur einen Punkt, nicht eine Fläche oder Körper sehen können. Auf und für einen einzigen Punkt ist unser Auge vollständig akkommodirt, für alle übrigen Punkte des Gesichtsfeldes nicht. Daraus folgt aber nicht, dass wir, indem wir das Auge aufschlagen, ausser jenem einzigen Punkte gar keinen anderen Punkt weiter sähen, oder das wir die übrigen Punkte mit gänzlicher Einbusse der Empfindung für irgend eine jener wesentlichen Eigenschaften, z. B. der Entfernung, wahrnähmen, dass also alle Gegenstände platt erschienen, oder dass sich uns alle jene Punkte ohne irgend eine Erkenntniss der gegenseitigen geometrischen Beziehung darböten. Keineswegs. Es folgt nur daraus, dass wir ausser dem fixirten Punkte alle übrigen Punkte des Gesichtsfeldes nur mit gröserer oder geringerer Ungenauigkeit hinsichtlich der genannten Eigenschaften erkennen.

Man pflegt wohl mit dem Ausdrucke direktes Sehen das Sehen des fixirten Punktes oder bei einer etwas unbestimmten Erweiterung des Begriffes das Sehen irgend eines im Bezirke des deutlichen Sehens liegenden Punktes zu belegen und den Ausdruck indirektes Sehen auf das Sehen der nicht fixirten, resp. ausserhalb jenes Bezirkes liegenden Punkte anzuwenden.

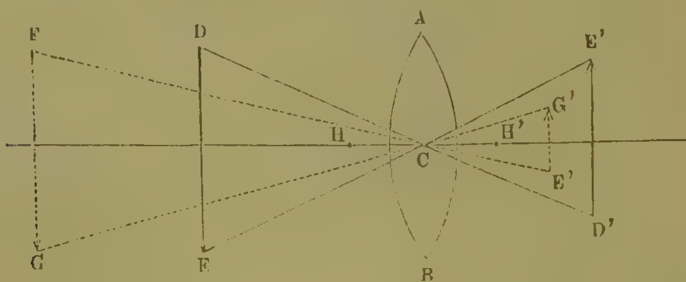
Von mathematischer Genauigkeit, z. B. hinsichtlich des Aplanatismus oder des Achromatismus oder der Konvergenz auf der Netzhaut kann ja niemals, auch nicht einmal für den fixirten Punkt die Rede sein. Ein gewisser Grad von Ungenauigkeit oder Abweichung ist für das Auge unbemerkbar, und die Undeutlichkeit, sowie gänzliche Verwirrung oder Aufhebung des Lichtbildes tritt erst bei verhältnissmässig starken Abweichungen oder ganz ungenügender Akkommodation ein.

Wir sehen also ausser einem einzigen Punkte des Gesichtsfeldes, oder vielmehr des Gesichtsraumes (denn wir können das Auge auch auf einen vor oder hinter der Oberfläche der sichtbaren Körper liegenden Punkt akkommodiren) alle übrigen Punkte, mithin jede Fläche und jeden Körper mit unvollkommener Akkommodation, folglich ungenau. Inzwischen sind die Grenzen sowohl für die Entfernung, als auch für die Seitenrichtungen, innerhalb welcher die Deutlichkeit und Reinheit des Bildes vermöge jener unvollkommenen Akkommodation ernstlich gefährdet wird, sehr erheblich, sodass uns nach der Konstruktion unseres Auges ein ziemlich grosses Gesichtsfeld und ein tiefer Gesichtsraum vergönnt ist, innerhalb dessen wir die Bilder der unzähligen darin vorhandenen Gegenstände gleichzeitig und mit hinreichender Genauigkeit nach allen ihren geometrischen und optischen Eigenschaften wahrzunehmen vermögen.

Hierzu kömmt noch, dass es nach §. 6 No. 4 und §. 21 No. 7 sehr wahrscheinlich ist, dass die Netzhaut, die Linse und der Glaskörper die Fähigkeit besitzen, sich für die einzelnen Theile des Lichtbildes, wennauch nicht ganz vollkommen, doch so weit zu akkommodiren, dass dadurch die Deutlichkeit des Bildes eines körperlichen Gegenstandes wesentlich erhöht wird.

Fragt man nun nach der Thätigkeit des Auges, welche uns das Urtheil über die Entfernung eines Gegenstandes verschafft; so müssen wir auch hier zunächst einer irrthümlichen Ansicht entgegentreten, der Ansicht nämlich, dass jene Entfernung nach der absoluten Grösse des Lichtbildes $E'D'$ (Fig. 143) auf der Netzhaut bemessen werde. Allerdings

Fig. 143



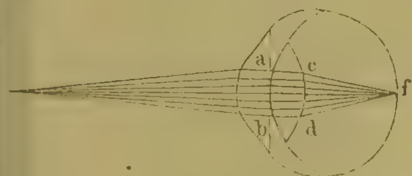
dings vergrössert sich das Lichtbild, wenn sich der Gegenstand dem Auge nähert, weil der Konvergenzpunkt sich von der Linse entfernt, folglich die Linse vor- oder die Netzhaut zurückrücken muss, was bei dem Gleichbleiben des Sehwinkels eine Vergrösserung des Lichtbildes zur Folge hat. Von der Grösse des Lichtbildes kann indessen überall keine Rede sein, weil Diess ja einen ausgedehn-

en Gegenstand *ED* oder eine Konkurrenz mehrerer Punkte voraus-
etzt. Wir erkennen aber die Entfernung eines einzigen Punktes *D*
ıicht bloss ebenso gut wie die eines räumlichen Gegenstandes, sondern
ogar besser und bestimmter. Demnach kann die zufällige Konkurrenz
ines zweiten und dritten Punktes, also eine Figur oder ein Körper,
ıicht als etwas Nothwendiges oder Bedingendes angesehen werden.

Man kann auch nicht statt der Grösse des Lichtbildes *E′D′*,
ozu ein räumliches Objekt *ED* gehören würde, die hiermit propor-
ionale Entfernung *CD′* des Lichtbildes von der Linse oder den
bstand der Spitze des Strahlenkegels von irgend einem festen Punkte,
B. von dem Nullpunkte der Netzhautstellung im Zustande völli-
er Unthätigkeit als den eigentlichen Maassstab des Auges für die Seh-
eite ansehen. Diese Entfernung setzt zwar kein räumliches Objekt vor-
ıs, sondern hat auch für einen einzelnen Punkt *D* dieselbe Bedeu-
ıng; allein in ihr kann desshalb die fragliche Bedingung nicht bestehen,
eil Diess offenbar nur dann möglich wäre, wenn der Konvergenzpunkt
′′ aller von *D* ausgehenden Strahlen wirklich in die Netzhaut fiele,
cht aber dann, wenn derselbe vor die Netzhaut in die Glasfeuch-
gkeit oder gar hinter die Netzhaut fiele, also in der Wirklichkeit
ır nicht existirte. Solches fände aber mit Ausnahme des fixirten
ınktes bei allen übrigen Punkten statt, welche wir gleichzeitig und
ar mit hinreichend genauer Erkenntniss ihrer Entfernung sehen,
bald wir das Auge aufschlagen. Auch ist die Entfernung des Konver-
nzpunktes von der Linse eine ideelle Grösse, welche an sich keine
aterielle Wirkung hervorbringen kann. Was das Auge affiziren,
ne Empfindung und eine Wirkung im Gehirne erzeugen soll, muss noth-
endig selbst eine Kraftäusserung sein.

Die Affektion der Netzhaut in dem Konvergenzpunkte *f* der von
nem Punkte *e* ausgehenden Strahlen (Fig. 144) ist durch den Strahlen-

Fig. 144.



kegel *cfd* bedingt. An diesem Kegel ist ausser dem eben besprochenen Abstande der Spitze von einem festen Punkte noch der Winkel *cfd* veränderlich. Die Intensität und die Farbe dieses Strahlenkegels sind zwar ebenfalls variabel; diese Grössen kommen aber hier nicht in
racht, da das Auge für jede beliebige Intensität und für jede beliebige
be die Entfernung muss erkennen können. Da der Winkel *cfd* in
r hohem Grade von der Öffnung der Pupille *ab* abhängt; so kann
selbe bei sehr verschiedenen Entfernungen *ea* erzeugt werden, wenn
der Entfernung zugleich die Intensität oder die Farbe oder Beides
emessen variirt wird. Die Grösse der Pupille hat aber nur einen
hst untergeordneten Einfluss auf die Schätzung der Entfernung; es ist
klar, dass auf dem Winkel *cfd* des Strahlenkegels die Erkenntniss
Entfernung nicht beruhen kann.

Jetzt käme in Frage, ob das Urtheil über die Entfernung etwa dem
streben, der Anstrengung, der Kraftäusserung zugeschrieben wer-
könne, welche das Auge macht, um die Netzhaut in die Spitze des Strah-

lenkegels zu führen, also der Akkommodationsthätigkeit, etwa in Verbindung mit der Muskelthätigkeit, welche die Konvergenz der beiden Augenaxen bewirkt.

Da wir vorhin den Konvergenzwinkel der Augenaxen als etwas Nebensächliches für die Erkenntniss der Entfernung befunden haben; so ist es nicht möglich, der Muskelthätigkeit, welche diese Konvergenz bewerkstelligt, einen prinzipiellen Einfluss auf die Erkenntniss der Entfernung zuzuschreiben. In der That giebt uns die Thätigkeit der Augenmuskeln nur Zeugniss über die Stellung der Augenaxen zur Kopfaxe, nicht aber über Stellung äusserer Objekte zu dem Auge und zu einander.

Die Rekursion auf die Akkommodationsthätigkeit dagegen, d. h. auf diejenige Thätigkeit, welche das Lichtbündel zur Konzentration und die Spitze desselben auf die Netzhaut bringt, hat auf den ersten Blick etwas sehr Verführerisches. Da man das Bestreben, ihr Stäbchen in die Spitze des betreffenden Strahlenkegels zu führen, offenbar jeder einzelnen Faser des Sehnerven für sich zuschreiben muss; so führte Diess mit Hülfe jener Hypothese sofort zur Erklärung der Thatsache, dass das Auge gleichzeitig die verschiedenen Entfernungen der Objekte des Gesichtsraumes erkennt. Man könnte sogar begreifen, wie die Erkenntniss einer Entfernung bei unvollkommener Akkommodation möglich wäre, ohne dabei im mindesten Erfahrung oder Versuchsbewegungen zu Hülfe zu nehmen. Die bei mangelhafter Akkommodation entstehenden Zerstreuungskreise würden die Tendenz zur Akkommodation, also die Akkommodationsanstrengung sehr wohl hervorrufen können.

So einladend diese Hypothese ist; so muss ich sie doch verwerfen. Sie zeigt sich als unzulänglich, sobald man nach dem Maasse der erwähnten Thätigkeit fragt, welches doch, wenn diese Thätigkeit die Grundlage der Erkenntniss der Entfernung sein soll, dem Maasse der erkannten Entfernung äquivalent sein muss. Jede Thätigkeit beruht auf einer materiellen Basis und der Grad der geistigen Vorstellung stimmt mit dem Grade der materiellen Thätigkeit überein, worauf jene beruht (dieser Grad harmonirt auch im Allgemeinen, jedoch nicht immer mit dem Grade der äusseren Anregung). Es ist daher nicht bloss zulässig, sondern nothwendig, nach der Thätigkeit und ihrem Grade zu fragen, worauf eine geistige Vorstellung, hier die Erkenntniss der Entfernung beruht, und es leuchtet ein, dass ein unerlässliches Kriterium dieser Thätigkeit darin besteht, dass sie ein äquivalentes Maass für die Grösse der Vorstellung enthalte.

Letzteres leistet nun die Akkommodationsthätigkeit durchaus nicht. Wenn die Entfernung des Objektes (die von uns vorgestellte) quantitativ kleiner wird, wird die Akkommodationsanstrengung grösser und umgekehrt, weil die Spitze des Strahlenkegels umso weiter hinter die Netzhaut fällt und das Auge zu einer umso grösseren Formveränderung genöthigt wird. Dieses umgekehrte Verhältniss zwischen der Anstrengung und der darauf beruhenden Vorstellung würde einen flagranten Widerspruch gegen die Naturgesetze enthalten.

Ausserdem beachte man, dass der Akkommodationsapparat in hohem Grade dem Willen unterworfen ist. Ich kann mein Auge auf ein Objekt

ıkkommodiren oder auch nicht. Wenngleich hiermit ein gewisser Einfluss ıuf die scheinbare Entfernung des Objektes ausgeübt wird; so ist derselbe loch bei weitem nicht im Stande, jene Erkenntniss wesentlich zu belingen. Die Erkenntniss der Entfernung geht daher immer der kkommodation voraus, sie besteht mit und ohne Akkommolation, wenngleich sie nur bei vollkommener Akkommodation genau rird; sie muss also auf einer spezifisch anderen Thätigkeit beruen, als auf der Akkommodation.

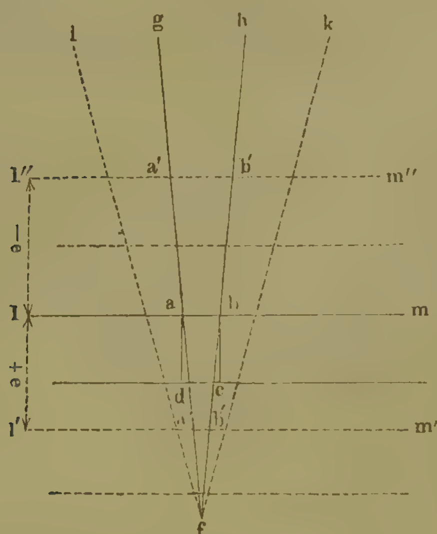
Ebenso wenig können Versuchsbewegungen des Auges, z. B. das Iingleiten über eine vor uns liegende Strecke von dem vorderen Endıunkte nach dem hinteren und zurück, mag man dabei an die motorische Thätigkeit der Augenmuskeln oder an die des Akkommodationsapparates enken, vermöge der dabei entstehenden Reihe von Empfindungen as Urtheil über die Entfernung begründen: denn dieses Urtheil bildet ich, wie schon mehrfach erwähnt, auch in dem ganz ruhig stehenden uge. Ausserdem würden diese Bewegungen und Empfindungen, welche ich mit dem Kleinerwerden der Entfernung steigern, zu demselben orstehend besprochenen Widerspruche mit den allgemeinen Prinzipien er Natur führen.

7. Thätigkeit, auf welcher die Erkenntniss der Entfernung eruht. Nach diesen Voruntersuchungen, welche der Wichtigkeit des egenstandes halber eine umständliche Erörterung erforderten, deduzire h meine Ansicht über die Thätigkeit, worauf unsere Erkenntniss der ntfernung, d. h. das Urtheil über die Grösse der Entfernung beruht, lgendermaassen.

Wenn ein Stäbchen der Netzhaut, als Anfangsstück einer besonderen aser des Sehnerven durch Lichtstrahlen erschüttert wird, welche paral-l zu seiner Axe eindringen; so entsteht hierdurch eine Wirkung, elche in Beziehung auf die Vibrationen und die daran sich knüpfenden mpfindungen den höchsten Grad von Einfachheit hat. Fallen jedoch rahlen in das Stäbchen, welche unter sich konvergiren; so entsteht n komplizirteres Erschütterungssystem, welches sich von dem ersteren esentlich durch eine Seitenkomponente (normal zur Axe des Stäbens) unterscheidet. Nimmt man, was die Anzahl der einfallenden rahlen oder die Quantität des einfallenden Lichtes betrifft, an, dass r ganze vordere Querschnitt ab des Stäbchens $abcd$ (Fig. 145 a. f. S.) efüllt wird; so ist die eben bezeichnete Seitenkomponente oder vielehr das Verhältniss dieser Seitenkomponente zu der axialen omponente der Lichtwirkung, sofern diese Wirkung sich in den iden Grenzstrahlen gf und hf konzentrirte, gleich dem Sinus des Winls gfh oder gleich diesem sehr kleinen Winkel selbst. Der Winkel fh ist nicht der Winkel des ganzen Strahlenkegels ifk, sondern es der Konvergenzwinkel der benachbarten Elementarstrahn dieses Kegels (vgl. §. 8 No. 17). Setzt man diesen Winkel $gfh = \beta$; ist der Abstand b der Spitze f des Strahlenkegels von der Netzhaut also die Grösse af, wenn c die Breite ab des Stäbchens bezeichnet, $= \frac{c}{\beta}$ und man hat auch $\beta = \frac{c}{b}$.

Wir stellen jetzt die Annahme auf, dass das Stäbchen für die Affektion von der Seite unmittelbar empfindlich sei, d. h. dass es die normal gegen seine Axe gerichteten Erschütterungen ebensowohl wie die axialen Erschütterungen empfinde und von den letzteren unterscheide, und dass unmittelbar auf der Empfindung dieses Unterschiedes oder des Verhältnisses der normalen zur axialen Komponente der Lichterschütterungen das Urtheil der Entfernung beruhe. Da dieses Verhältniss $\beta = \frac{c}{b}$ ist; so ist dasselbe direkt dem Konvergenzwinkel β, aber indirekt dem Abstande der Spitze des Strahlenkegels proportional. Bei kleinen Entfernungen findet eine kleine, bei grossen eine grosse Seitenaffektion statt; wir erkennen daher die verschiedenen Entfernungen in ihren Quantitätsverhältnissen ganz in Gemässheit allgemeiner Naturprinzipien.

Fig. 145.



Der Winkel β ist dem umgekehrten Werthe des Abstandes b nur solange proportional, als die Breite c des Stäbchens einen konstanten Werth behält. Wir wollen daher und müssen auch nach strengen Prinzipien unter c nicht die Breite eines Stäbchens, welche an den verschiedenen Stellen der Netzhaut verschieden gross sein könnte, sondern eine konstante Einheit für die Breite der Stäbchenmasse verstehen, sodass jedes Stäbchen, wie breit es auch sein möge, als ein Aggregat unter sich gleicher, der Zahl nach aber beliebig verschiedener Nervenelemente gedacht wird. Hierdurch wird es auch gleichgültig, ob der vordere Querschnitt des Stäbchens ganz oder nur theilweise mit Strahlen gefüllt ist, oder ob der Strahlenkegel mehrere Stäbchen trifft. c ist für uns die Breite der elementaren Flächeneinheit der Netzhaut, in deren Bereiche die Nervensubstanz die Zusammengehörigkeit der Lichtstrahlen zu einem elementaren Bündel empfindet.

Ich ergänze nun die vorstehende Hypothese noch in der Weise, dass ich der eben erwähnten Nerveneinheit oder der Grösse c einen konstanten Werth für alle die Netzhaut gleichzeitig treffenden Strahlenbündel nur für den Fall zuschreibe, dass sich die Netzhaut im Zustande der Unthätigkeit oder in der Ruhelage befindet, welche Lage wir als den Nullpunkt für die Bewegungen der Netzhaut in Folge der Akkommodation ansehen.

Angenommen, lm sei diese Ruhelage der Netzhaut oder vielmehr der

Vorderfläche der Stäbchenschicht. In dieser Lage hat die obige Flächeneinheit für alle Strahlenbündel denselben Werth c. Rückt jetzt die Netzhaut nach $l'm'$, vergrössert sich also der Radius der Kugelfläche, in welcher die Netzhaut liegt, um $ll' = e$; so ändern sich mit dieser Ausdehnung der Netzhaut die Spannungen, welche in dieser Haut bestehen. Diese Spannungen sind nicht bloss mechanische oder Elastizitätsspannungen, bedingt durch die Kompression der augenscheinlich fest aneinandergedrängten Stäbchen, sondern auch solche Spannungen, welche das Verhältniss des Äthers zum Ponderabelen in der Nervenmasse betreffen, welche also für die Lichtwirkungen von Bedeutung sind. Beide hängen, wie sich schon bei der Verdichtung und Verdünnung anorganischer Stoffe zeigt, in gewisser Weise voneinander ab, und aber auch andererseits in gewisser Weise selbstständig, d. h. die Ätherspannungen können theils durch mechanische, theils durch andere Naturkräfte geändert werden.

Hieraus schliessen wir, dass die obige Flächeneinheit c der Nervensektion sich bei der Ausdehnung der Netzhaut von l bis l' nicht bloss vermöge der sich ändernden mechanischen Spannungen zwischen den Stäbchen, also in einer durch die Volumveränderung $ll' = e$ bedingten Weise ändert, sondern dass diese Änderung zugleich beeinflusst wird durch das Verhältniss β, welches die ebenfalls in der Fläche der Netzhaut wirksame Komponente der Ätherthätigkeit des Lichtbündels darstellt, welches also für jedes Bündel von verschiedener Konvergenz verschieden ist, wogegen die erstere von der Volumänderung e abhängige Änderung allen Strahlenbündeln gemein ist.

Es ist hiernach natürlich, diese Änderung der Grösse c sowohl der Verrückung e, als auch dem Komponentenverhältnisse β, folglich dem Produkte $c\beta$ proportional zu setzen. Ist daher c' die Breite der Nerveneinheit für den Abstand e der Netzhaut vom Nullpunkte und für ein Strahlenbündel von der Konvergenz β; so kann man setzen

$$c' = c - e\beta = c\left(1 - \frac{e\beta}{c}\right) = c\left(1 - \frac{e}{b}\right)$$

Der Querschnitt der in Rede stehenden Nerveneinheit vermindert sich also, indem die Augenaxe sich verlängert. Umgekehrt vergrössert sich jener Querschnitt zu $c\left(1 + \frac{e}{b}\right)$, wenn sich die Augenaxe um die Länge e verkürzt oder die Netzhaut nach $l''m''$ rückt. Der letztere Fall ist in dem ersteren enthalten, indem man das Zeichen von e umkehrt.

Da b den Abstand lf' des Konvergenzpunktes f vom Nullpunkte der Netzhaut darstellt; so ist der Abstand $b' = l'f'$ von der neuen Lage der Netzhaut

$$b' = b - e = b\left(1 - \frac{e}{b}\right)$$

Das Verhältniss der normalen zur axialen Komponente der Lichterschütterungen ist jetzt

$$\frac{c'}{b'} = \frac{c\left(1 - \frac{e}{b}\right)}{b\left(1 - \frac{e}{b}\right)} = \frac{c}{b} = \beta$$

Dieses Verhältniss, auf welchem nach unserer Ansicht das Urtheil über die Entfernung beruht, hat sich also nicht geändert. Das Auge beurtheilt demgemäss die Entfernung immer gleich richtig, gleichviel ob die Netzhaut akkommodirt ist oder nicht. Die etwaige Beeinträchtigung des Urtheils über die Entfernung durch mangelhafte Akkommodation ist etwas ganz Nebensächliches, welches wir weiter unten erläutern werden.

Hiernach wäre die vorgestellte Entfernung dem umgekehrten Werthe des Abstandes b des Konvergenzpunktes des Strahlenkegels von einem festen Punkte, nämlich von dem Orte, welchen die Netzhaut im Zustande völliger Unthätigkeit einnimmt, proportional.

Dieses Resultat stützt sich hinsichtlich seines mathematischen Ausdruckes auf die Voraussetzung, dass es sich bloss um zwei Strahlen gf und hf handele, welche sich unter dem Winkel β gegeneinander neigen. In Wirklichkeit ist aber ein Kegel von Strahlen gegeben, dessen Elemente unendlich viel verschiedene Neigungen bis zum Grenzwerthe β haben. Zerlegt man ein radiales Stück dieses Strahlenkegels, welches durch zwei in seiner Axe sich unter dem Winkel ψ schneidende Ebenen begrenzt ist, in seine Elemente, welche unendlich dünne Kegelmäntel bilden; so ist der Querschnitt eines solchen elementaren Mantels, dessen Radius in der Fläche der Netzhaut $= \varrho$ ist, proportional der Grösse $\psi \varrho \partial \varrho$. Setzt man den Neigungswinkel der Seite dieses elementaren Mantels gegen die Axe des Kegels gleich φ; so ist die Seitenkomponente der entsprechenden elementaren Lichtmenge gleich $\varphi \psi \varrho \partial \varrho$ oder, da $\varphi = \frac{\varrho}{b}$ ist, gleich $\frac{\psi \varrho^2 \partial \varrho}{b}$. Das Integral dieses Ausdruckes, worin ψ und b konstant sind, von $\varrho = 0$ bis $\varrho = \frac{c}{2}$ ist $\frac{1}{24} \cdot \frac{\psi}{b} c^3$. Die axiale Komponente der gedachten elementaren Lichtmenge ist dieser Lichtmenge selbst, also der Grösse $\psi \varrho \partial \varrho$ proportional. Das Integral hiervon zwischen den genannten Grenzen ist $^1/_8 \psi c^2$. Das Verhältniss jener Seitenkomponente zu dieser axialen Komponente bleibt also proportional zu $\frac{c^3}{b c^2}$ d. h. zu $\frac{c}{b}$ oder zu β.

Jetzt entsteht noch die wesentliche Frage, ob die Intensität der Strahlen einen Einfluss auf die Seitenaffektion des Stäbchens habe. Da es sich nicht um den absoluten Werth der Seitenkraft, sondern um das Verhältniss derselben zur axialen Komponente handelt, die seitliche und die axiale Komponente aber sich bei variirender Intensität gleichmässig ändern; so gelangen wir zu dem wichtigen Schlusse,

dass das Urtheil über die Entfernung von der Intensität des Lichtes unabhängig ist.

Ob der mathematische Ausdruck, welcher das Verhältniss der Seitenaffektion zur axialen Affektion der Nervensubstanz in der Netzhaut ausdrückt und welcher nach unserer Ansicht das natürliche *Maass* für die darauf beruhende *Vorstellung der Entfernung* ist, mit der *wirklichen Entfernung* übereinstimmt, lässt sich von vorn herein nicht sagen und kann nicht als ein unbedingtes Erforderniss angesehen werden. Fände keine Proportionalität zwischen dem Affektionsverhältnisse und der Wirklichkeit statt; so würden uns die verschiedenen wirklichen Entfernungen allerdings in unrichtigem Verhältnisse erscheinen, wir würden uns also über die richtigen Verhältnisse *täuschen* und einen solchen Organismus *unvollkommen* nennen: allein *prinzipiell* stände dieser Nichtübereinstimmung Nichts entgegen.

Um zu prüfen, wie weit die fragliche Übereinstimmung stattfindet, bemerken wir, dass der Abstand der Spitze des Strahlenkegels von der *Linse* nach §. 8 No. 3 für das *vereinfachte Auge genau*, also für das *wirkliche Auge angenähert*

$$y = \frac{nr}{n - 1 - \frac{r}{a}}$$

oder in Millimetern

$$y = \frac{28}{1 - \frac{20}{a}}$$

ist, worin a die wirkliche Entfernung des leuchtenden Punktes vom Auge bezeichnet. Der Zustand der *Unthätigkeit* des Auges entspricht der kleinsten Länge der Augenaxe und nahezu dem Sehen in *unendliche Ferne*. Der Abstand y' der Netzhaut von der Linse für diesen Zustand oder für $a = \infty$ ist also $y' = \frac{nr}{n-1} = 28$. Hiernach hat man für den Abstand b der Spitze des Strahlenkegels von der *Ruhelage der Netzhaut*

$$b = y - y' = \frac{nr^2}{(n-1)[(n-1)a - r]} = \frac{560}{a - 20}$$

und für den umgekehrten Werth $\frac{1}{b}$

$$\frac{1}{b} = \frac{a - 20}{560} = \frac{a}{560} - \frac{1}{28}$$

Diese Grösse ist nur dem Winkel β oder dem in Rede stehenden *Affektionsverhältnisse* proportional. Hieraus geht hervor, dass die auf Grund dieser Affektion von uns *vorgestellte* Entfernung der um *20 Millimeter verkürzten wirklichen Entfernung* proportional ist. Da jedoch dieses Ergebniss aus einer Näherungsbestim-

mung der Grösse b abgeleitet ist; so kann man annehmen, dass bei scharfer Ermittlung die ohnehin ganz unbedeutende Differenz von 20 Millimetern verschwindet, und wir stehen vor dem sehr bedeutsamen Resultate, dass das Auge unmittelbar auf Grund der Lichterschütterungen der Netzhaut die verschiedensten Entfernungen richtig, d. h. in richtigem Grössenverhältnisse erkennt.

Alle Abweichungen von diesem Gesetze stammen aus gewissen Unvollkommenheiten und Störungen, welche wir im Laufe dieser Schrift näher untersuchen werden.

8. Spezielle Erläuterungen. Da in der obigen Entwicklung c die Breite einer elementaren Flächeneinheit bezeichnet, welche von dem Kaliber der einzelnen Stäbchen und Zapfen unabhängig ist; so sieht man, wie sich die Lichtwirkungen stetig aneinanderreihen können, indem der Raum jener elementaren Einheit der Nervenmasse in Gedanken längs des Zuges einer Linie durch die Netzhaut geführt wird.

Ich mache noch darauf aufmerksam, dass wenn man sich den Zerstreuungskreis eines Strahlenbündels in dem nicht akkommodirten Auge vergegenwärtigt, welcher vielleicht eine Fläche einnimmt, die tausendfach so gross ist, als der Querschnitt jener elementaren Affektionssphäre, aus Vorstehendem durchaus nicht folgt, dass das Auge den Strahlenkegel nur in seinem zentralen Theile von der Breite c empfinde. Im Gegentheil, man kann sich jeden Punkt dieses Zerstreuungskreises als den Mittelpunkt von c denken und das obige Raisonnement darauf anwenden. Das Auge empfindet jedes Flächenelement oder jeden Punkt des Zerstreuungskreises wie die Wirkung eines äusseren leuchtenden Punktes und glaubt daher eine leuchtende Fläche zu erblicken: es erkennt die Entfernung des leuchtenden Punktes in jedem Elemente des Zerstreuungskreises, welchen der Strahlenkegel im nicht akkommodirten Auge erzeugt.

Ausserdem ist hervorzuheben, dass bei der Akkommodation sich nicht bloss der Ort der Netzhaut gegen die Linse, sondern auch die Form und Dichtigkeit der brechenden Medien, besonders der Linse ändert und dass die letzteren Änderungen eine besondere Verrückung des Konvergenzpunktes f oder eine besondere Variation des Konvergenzwinkels β zur Folge haben. Wir müssen nun annehmen, dass diese Änderungen der brechenden Medien, da sie von demselben Apparate, dem Akkommodationsapparate, wie die Verlängerung der Augenaxe, durch eine motorische Thätigkeit hervorgebracht werden, nicht bloss hinsichtlich ihres Hauptzweckes der Konzentration der Strahlen auf einen Punkt, sondern auch hinsichtlich der Veränderung der Spannungen in der Netzhaut und demgemäss hinsichtlich der Variation des Querschnittes c der elementaren Maasseinheit der Affektionssphäre äquivalent seien, dergestalt, dass das Verhältniss $\frac{c}{b}$ oder die Grösse β von der Akkommodation durchaus unabhängig bleibt.

Um diese Äquivalenz mathematisch zu definiren, so sei bei irgend einer Akkommodationsänderung e_1 die Grösse, um welche sich der Abstand zwischen der Linse und der Netzhaut vergrössert, also die Netzhaut von der Linse oder die Linse von der Netzhaut sich entfernt, e_2 die Grösse, um welche die Linse dicker wird oder ihr vorderer Pol sich von dem hinteren entfernt, e_3 die Grösse, um welche die Formveränderung (stärkere Wölbung) der brechenden Medien den Strahlenkegel verkürzt, e_4 die Grösse, um welche die Dichtigkeitsveränderung der brechenden Medien den Strahlenkegel verkürzt, also $e_1 + e_2 + e_3 + e_4 = e$ die gesammte Veränderung des Abstandes zwischen der Netzhaut und der Spitze f des Strahlenkegels. Dieser Werth e stellt die wahre Variation von b dar; man hat $b' = b - e = b\left(1 - \frac{e}{b}\right)$ und wir nehmen an, dass die elementare Nerveneinheit c nach dem obigen Gesetze so beeinflusst werde, dass man $c' = c\left(1 - \frac{e}{b}\right)$ erhält. Hiernach bleibt wie vorhin $\beta = \frac{c'}{b'} = \frac{c}{b}$.

Die Veränderung der Länge des Strahlenkegels in Folge der Form- und Dichtigkeitsveränderung der brechenden Medien hat übrigens nebenbei eine gewisse Veränderung des Konvergenzwinkels β zur Folge, welche besonders in Rechnung gestellt werden muss. Durch die Verkürzung des Strahlenkegels um die Grösse $e_3 + e_4 = e'$ in Folge einer Verstärkung der Wölbung und Dichtigkeit der Linse vergrössert sich der Konvergenzwinkel β etwas. Ist nämlich d der Abstand von der Hornhaut bis zur Netzhaut; so wird der Konvergenzwinkel β' sehr nahe

$$\beta' = \frac{d}{d - e'}\,\beta = \frac{d}{d - e'} \cdot \frac{c}{b}$$

oder für mässige Werthe von e'

$$\beta' = \left(1 + \frac{e'}{d}\right)\beta = \left(1 + \frac{e'}{d}\right)\frac{c}{b}$$

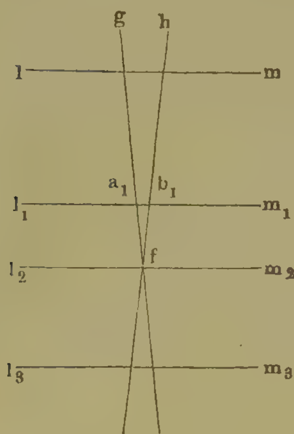
Für alle gewöhnlichen Sehweiten ist e' gegen d so unbedeutend, dass β' von β sich nur sehr wenig unterscheidet.

Wir müssen ferner darauf hinweisen, dass nach der vorstehenden Deduktion die Eintheilung der Netzhaut in einzelne Stäbchen für das Prinzip der Erkenntniss der Entfernung ganz unwesentlich ist. Die Stäbchen haben andere Zwecke und zwar nicht bloss, wie die Zerlegung des Sehnerven in Primitivfasern und wie die Auflösung des Nervenstammes in isolirte Ausläufer, allgemeine Organisationszwecke, sondern auch spezielle optische Zwecke, welche wir weiter hinten (§. 21) kennen lernen werden.

Was den absoluten Werth der Flächeneinheit für die Nervenwirkung im Ruhezustande der Netzhaut, also die Grösse c, und ferner die äussersten Grenzen dieser Einheit für die verschiedenen Axenlängen des Auges betrifft; so bemerke ich, dass bei der Akkommodation des Auges auf das Strahlenbündel gfh die Netzhaut sich so stellt, dass der Konver-

genzpunkt f auf die Aderhaut, also in die hintere Fläche $l_2 m_2$ der Stäbchenschicht fällt (Fig. 146). Ist also l die Länge der Stäbchen (die Dicke $l_1 l_2$ der Stäbchenschicht); so ist für die Akkommodation $b' = b - e = l$, worin e den Längenunterschied der Augenaxe für die Ruhelage und diese Akkommodationslage bezeichnet. Die Breite der Nerveneinheit ist für diese Stellung

Fig. 146.



$$c' = c\left(1 - \frac{e}{b}\right) = \frac{c\,l}{b} = \frac{l}{e + l}\,c$$

Allgemein hat man immer $c' = \frac{b'}{b}\,c.$

Der Durchmesser der Nerveneinheit variirt also wie der Abstand der Vorderfläche der Stäbchenschicht vom Konvergenzpunkte f und beträgt für die Akkommodation den Theil $\frac{l}{b} = \frac{l}{e + l}$ von dem Durchmesser der Grundeinheit c.

Betrachtet man solche Strahlenbündel, deren Konvergenzpunkt bis zu 2,5 Millimeter von der Ruhelage der Netzhaut sich entfernt, also die Bündel aller Objekte, welche jenseit der Entfernung des deutlichen Sehens liegen oder den Werthen von $a > 250$ entsprechen; so kann b höchstens den Werth 3 annehmen. Die Länge l der Stäbchen, auf welche b' bei der Akkommodation herabsinkt, ist etwa $= 0{,}03$. Demgemäss kann bei guter Akkommodation die Flächeneinheit c' für diese Bündel höchstens auf $\frac{0{,}03}{2{,}5} = 0{,}012$ oder $\frac{1}{84}$ des für die Ruhelage der Netzhaut gültigen Werthes herabsinken. Über die absolute Grösse der Werthe von c und c' ist hierdurch Nichts bestimmt, nur über die relative Grösse. Man ersieht, dass der Durchmesser der Flächeneinheit der Nervenaffektion für den akkommodirten Blick in unendliche Ferne etwa 84mal so gross ist, als für den Blick auf etwa 10 Zoll Entfernung.

Zieht sich die Netzhaut über den Ort der Akkommodation noch weiter zurück; so sinkt c' mit b' gleichmässig, und für den Fall, dass die Vorderfläche der Stäbchenschicht den Konvergenzpunkt f erreicht, also $e = b$ ist, werden diese beiden Grössen gleich null.

Überschreitet die Netzhaut die Lage $l_2 m_2$, tritt dieselbe also in die Lage $l_3 m_3$, wofür $e > b$ ist; so nimmt die Grösse $c' = c\left(1 - \frac{e}{b}\right) = c - e\beta$ einen negativen Werth an. Diess entspricht auch dem jetzt sich bildenden Systeme von Kräften vollkommen, wenn man erwägt, dass die Seitenkomponente der Lichtwirkung, um welche es sich ja hier überhaupt handelt, bei diesem Stande der Netzhaut eine der früheren entgegengesetzte Richtung annimmt, indem dieselbe jetzt von der Axe des Strahlenkegels nach aussen gekehrt ist, während sie vorher nach innen gekehrt war. Das rechnungsmässige Resultat sagt nun aus, dass bei Überschreitung der Lage $l_2 m_2$ die Einheit der elementaren Ner-

venwirkung wiederum wächst, dass aber jetzt eine Nervenaffektion in entgegengesetztem Sinne stattfindet. Da jetzt auch der rechnungsmässige Ausdruck für $b' = b - e$ negativ wird; so hat der Zeichenwechsel von c' und b' keinen Einfluss auf den Werth von $\beta = \frac{c'}{b'}$, welcher stets $= \frac{c}{b}$ bleibt.

Erforderte der Organismus für die Länge der Stäbchen nicht eine gewisse Grösse; so würde die Akkommodation offenbar am vollkommensten sein, wenn die Länge der Stäbchen null wäre, sodass sich die Stäbchenschicht in eine materielle Ebene verwandelte, welche bei der Akkommodation genau in die Spitze des Strahlenkegels träte. Diesen Zustand sehen wir denn auch als den idealen der Organisation und der Akkommodationsthätigkeit an, welchen die Natur erstrebt und durch die sehr dünne Stäbchenschicht angenähert erreicht.

Setzt man für $\frac{1}{b}$ seinen Werth $\frac{a - 20}{560}$ oder nahezu $\frac{a}{560}$ in den Ausdruck $c' = c\left(1 - \frac{e}{b}\right)$; so ergiebt sich für die Grösse der Nerveneinheit bei unvollkommener Akkommodation

$$c' = c\left(1 - \frac{a\,e}{560}\right)$$

oder wenn die Netzhaut hinter der Spitze des Strahlenkegels liegt,

$$c' = c\left(\frac{a\,e}{560} - 1\right)$$

Hieraus ersieht man, dass in dem nicht vollständig akkommodirten Auge die Grösse der Einheit c' mit der Entfernung a erheblich wächst.

9. Beziehung der Akkommodation zu der Erkenntniss der Entfernung. Durch Vorstehendes haben wir die Überzeugung gewonnen, dass die Akkommodation mit der Erkenntniss der Entfernung prinzipiell durchaus Nichts zu schaffen hat, dass vielmehr die Letztere das unmittelbare Ergebniss einer der Nervensubstanz des Sehnerven in der Stäbchenschicht eigenthümlichen Fähigkeit ist, die Lichterschütterungen nach ihren besonderen Richtungen zu empfinden oder vielmehr sich selbst unter den verschieden gerichteten Lichtimpulsen zu empfinden.

Dass gleichwohl die Akkommodation, da sie die Form und Dichtigkeit des Auges ändert, jene Erkenntniss in gewissem Grade stören, beirren, also beeinflussen kann, ist selbstverständlich. Diess ist jedoch nur eine Folge der Unvollkommenheit des Organismus und von untergeordneter Bedeutung.

Nach der Grundanlage des Organismus hängt also das Urtheil über die Entfernung von der Akkommodation im Wesentlichen nicht ab, wohl aber ist die Akkommodation von dem Urtheile über die Entfernung abhängig und zwar in folgender Weise. Die eigentliche Veranlassung zur Akkommodation ist die Undeutlichkeit und Unbestimmtheit,

also die gewissen natürlichen Neigungen des Organismus widersprechende Affektion der Netzhaut. Um diese Undeutlichkeit zu beseitigen, die Lichtstrahlen auf eine Nervenfaser zu konzentriren, wird der Akkommodationsapparat in Thätigkeit gesetzt und diese Thätigkeit ist das Resultat einer Induktion, welche zwischen den irritirten Nervenfasern und dem Akkommodationsapparate besteht.

Wie die Empfindung der Undeutlichkeit, so geht auch auf Grund der besonderen Erschütterungsrichtungen der Stäbchen das Urtheil über die Entfernung (wennauch unter Umständen mit einiger Unsicherheit hinsichtlich der Schärfe) der Akkommodation vorauf; jenes Urtheil wird durch die Affektion der Netzhaut in dem Zerstreuungskreise selbst im Zustande mangelnder Akkommodation unmittelbar erweckt und diese Erkenntniss giebt dem Akkommodationsapparate den Wegweiser, in welcher Richtung und mit welcher Stärke die Akkommodationsthätigkeit zu entwickeln ist. Bei diesem Zusammenhange der Dinge wird denn auch die grosse Schnelligkeit und Präzision, sowie der unwillkürliche, unbewusste Zwang erklärlich, womit das Auge sich auf eine Entfernung akkommodirt.

Akkommodation unterscheidet sich von Erkenntniss der Entfernung ebenso wie die Umklammerung des Ringes, an welchem ich ein Gewicht heben will, von der Erkenntniss dieses Gewichtes. Die Umklammerung ist Akkommodation des Armes, um die Muskeln in die gehörige Lage zu bringen, in welcher sie eine mechanische Spannung richtig aufzunehmen vermögen; die Erkenntniss der Grösse des Gewichtes beruht nicht auf dieser Umklammerung, nicht auf der dazu erforderlichen motorischen Thätigkeit, sondern auf der direkten Empfindung der gespannten Muskeln, d. h. auf der Thätigkeit der dadurch affizirten sensibelen Nerven. Die angenäherte Erkenntniss des Gewichtes geht der Umklammerung schon voran, dieselbe wird zwar immer sicherer, je besser die Umklammerung vollbracht ist; allein Das ist für das Prinzip der Erkenntniss etwas ganz Gleichgültiges; insbesondere liegt das Maass des vorgestellten Gewichtes lediglich in der Muskelspannung und der äquivalenten sensibelen Thätigkeit, nicht in der motorischen Thätigkeit der sich akkommodirenden Glieder.

Wir haben schon darauf aufmerksam gemacht, dass wenn das in das noch nicht akkommodirte Auge einfallende Strahlenbündel im Punkte *a* (Fig. 147) hinter der Netzhaut konvergirt, alle im Zerstreuungskreise liegenden Stäbchen von den Lichtstrahlen in schräger Richtung von aussen nach innen erschüttert werden, wogegen, wenn das Bündel im Punkte *b* vor der Netzhaut konvergirt (Fig. 148), die Stäbchen schräg von innen nach aussen affizirt werden. Durch diesen Gegensatz der Affektion ist dem Auge sofort die Erkenntniss davon gegeben, ob es sich behuf der Akkommodation zu verlängern oder zu verkürzen hat.

Fig. 147.

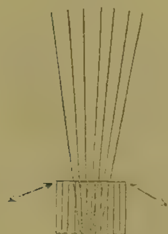


Fig. 148.



Auch ist hervorzuheben, dass die Polarisation der Strahlen durch die Brechungen

im Auge (§. 8 No. 15) dazu beiträgt, die wirksamsten *Schwingungen* in die *Meridionalebenen* zu verlegen, sodass in den einzelnen Punkten eines Zerstreuungskreises vornehmlich nur *Radialschwingungen* entstehen, welche in den beiden eben besprochenen Fällen die durch die Pfeile angedeutete *Neigung* gegen die Netzhaut in entgegengesetzten Richtungen haben. Durch die Polarisation wird die Axe des Strahlenkegels noch mehr als eine bevorzugte Richtung, um welche der Kegel in allen seinen geometrischen und dynamischen Verhältnissen symmetrisch ist, ausgezeichnet.

Während das Urtheil über die *Entfernung* von der *Intensität* des Lichtes unabhängig ist, wird die *Akkommodationsthätigkeit* umso energischer hervorgerufen, je stärker die Nervenmasse erschüttert wird, also je intensiver die Lichtstrahlen sind.

Die Richtung der *wirksamsten* Strahlen (§. 8 No. 17) entspricht der grössten Dichtigkeit der Strahlen, also der grössten Intensität. Wiewohl also die wirksamsten Strahlen die geringste Konvergenz (den entlegensten Konvergenzpunkt), also die kleinste Seitenkomponente β haben; so akkommodirt sich doch das Auge auf *diese*, weil eben die Akkommodation durch die *Energie der Erschütterung* und nicht durch das *Verhältniss* der Seitenkomponente zur axialen Komponente bedingt ist.

In einem *vollkommenen* Auge findet keine Aberration statt, alle Strahlen konvergiren in einem Punkte. Es ist nun besonders wichtig, dass nach unseren Untersuchungen in §. 8 No. 21 die Akkommodation, d. h. die zur *Deutlichkeit* oder zur *Konzentration des Strahlenbündels in einem Punkte der Netzhaut* erforderliche Form- und Dichtigkeitsveränderung eines vollkommenen Auges weder von der *Intensität*, noch von der *Farbe*, sondern lediglich von der *Entfernung* abhängt. In einem solchen Auge würde also die Netzhaut und der Strahlenkegel in seinen wesentlichen Bestandtheilen nur dann sich ändern, wenn die Entfernung des leuchtenden Punktes sich ändert. Da wir nun auch nur allein von dieser Entfernung die Grösse der Seitenaffektion des Stäbchens oder das Maass unserer *Erkenntniss* der Entfernung abhängig gefunden haben; so ersieht man, dass das Auge danach eingerichtet ist, die *Entfernung bei jeder beliebigen Intensität und Farbe richtig zu erkennen.*

Dass diese Erkenntniss gewissen *Beeinträchtigungen* unterworfen ist, haben wir schon erwähnt; namentlich wird bei der Unvollkommenheit alles Irdischen jeder Organismus nur so lange seine Thätigkeit gesetzmässig verrichten, als sich dieselbe innerhalb gewisser *Grenzen* bewegt, oder vielmehr es wird für jeden Organismus eine nach Grad und Richtung feststehende Thätigkeit geben, bei welcher er seine Funktionen normal verrichtet und diessseit und jenseit jener Grenze wird die Thätigkeit sich immer mehr von der Normalität entfernen.

So ist denn auch klar, dass die Schärfe des Urtheils über die Entfernung sowohl für sehr *grosse*, wie für sehr *kleine* Entfernungen abnehmen wird. Bei sehr kleinen Entfernungen wird nach der vorhergehenden Nummer die Flächeneinheit c der Netzhaut, deren Affektion in Frage kömmt, zu gross und bei sehr grossen Entfernungen wird sie zu klein, um noch ein sicheres Urtheil zu gestatten. Daher werden die sehr

kleinen Entfernungen nicht klein genug, also zu gross vorgestellt, wogegen die sehr grossen Entfernungen nicht gross genug, also zu klein gefunden werden.

Auch ist es möglich, dass der Effekt der einzelnen Akte der Akkommodation in Beziehung auf die Veränderungen der Grössen c und b nicht ganz normal bleibt, wenn diese Akkommodation zu stark oder zu schwach ist.

Endlich wird das Bestreben zur Akkommodation, welches stattfindet, wenn die Akkommodation selbst nicht realisirt werden kann, also z. B. dann, wenn mehrere leuchtenden Punkte aus verschiedenen Entfernungen gleichzeitig wirken, sicherlich schon eine gewisse Veränderung der Spannung der Netzhaut und der Grösse c, aber noch nicht die entsprechende Änderung der Grösse b bewirken. Das Urtheil über die Entfernung wird also im Zustande unvollkommener Akkommodation nicht genau mit diesem Urtheile im Zustande vollkommener Akkommodation übereinstimmen.

Die Erkenntniss der Entfernung ist am richtigsten in einer Weite, welche man aus anderen Gründen die mittlere Sehweite oder die Entfernung des deutlichen Sehens nennt und welche wir im nächsten Paragraphen näher betrachten werden.

Die eben besprochene Abweichung der Erscheinung von der Wirklichkeit ist in Beziehung auf das vorhin entwickelte Prinzip der Erkenntniss etwas ganz Nebensächliches, worauf wir weiter unten zurückkommen werden (§. 24 No. 4 bis 7).

Schliesslich hebe ich noch hervor, dass der Konvergenzpunkt der Strahlen, so gross auch die Entfernung des leuchtenden Punktes sein möge, niemals vor den Nullpunkt der Netzhautstellung, welcher der Unthätigkeit entspricht, fallen kann, dass also b stets einen positiven Werth hat, wenn a hinreichend gross ist. Nur wenn das Auge bereits auf ein näheres Objekt akkommodirt ist, also seine Axe verlängert hat, fällt der Konvergenzpunkt vor die Netzhaut, die Schwingungen der Strahlen nehmen eine entgegengesetzte Richtung gegen die Netzhaut an (Fig. 148) und das Auge wird dadurch veranlasst, seine Axe zu verkürzen. Auf die Erkenntniss der Entfernung hat Diess keinen Einfluss, nur auf die Akkommodationsthätigkeit.

Wenn aber der leuchtende Punkt dem Auge immer näher rückt, tritt endlich (bei äusserst kleinen Entfernungen von wenigen Millimetern, vergl. §. 8) der Fall ein, wo die Strahlen im Auge nicht mehr konvergiren, sondern divergiren. Diess muss den Eindruck machen, wie wenn sie von einem vor der Netzhaut liegenden Konvergenzpunkte herkämen. Man sollte hiernach meinen, dass jetzt das Auge induzirt würde, sich zu verkürzen: allein man muss erwägen, dass sich dieser Fall, wo der Konvergenzpunkt vor der Linse liegt, von dem anderen, bei normalem Sehen vorkommenden Falle, wo derselbe zwar vor der Netzhaut, aber doch immer hinter der Linse und auch hinter dem Nullpunkte der Netzhautstellung liegt, wesentlich unterscheidet. Im letzteren Falle führt die kleinste Bewegung der Netzhaut nach vorn, mit der entsprechenden Annäherung und Verdünnung der Linse dem erstrebten Ziele entgegen, vermindert die Zerstreuung; im

[e]rsteren Falle jedoch bewirkt dieselbe Veränderung eine Vermehrung [d]er Zerstreuung, wesshalb das Auge ganz richtig sich zu verlän[g]ern oder die Akkommodationsthätigkeit zu steigern strebt.

10. Nothwendigkeit der radialen Lichtstrahlung zum Sehen. [A]us Vorstehendem folgt, dass um einen Punkt als ein in bestimmter [E]ntfernung liegendes Objekt sehen zu können, radiale Licht[st]rahlen von demselben ausgehen und ein Strahlenbündel in das [A]uge senden müssen. Auf einen einfachen oder elementaren Strahl [v]ermag sich das Auge offenbar nicht gehörig zu akkommodiren. Ein [s]olcher Strahl trifft die Netzhaut immer in einem Punkte, wie auch [d]er Akkommodationszustand des Auges beschaffen sein mag, erzeugt nie[m]als Zerstreuungskreise, nöthigt also das Auge nicht zur Annahme eines [b]estimmten Zustandes behuf Beseitigung der Zerstreuung und Herbei[fü]hrung der Konzentration.

Zum Sehen eines Punktes ist hiernach nicht ein einfacher Strahl [o]der eine Lichtlinie, sondern ein Strahlenbündel, d. h. eine von einer [F]lächengrösse ausgehende Lichtstrahlung erforderlich, deren Linien[el]emente im Auge verschiedene Richtungen annehmen, folglich als [S]trahlenkegel auf die Netzhaut treffen. Wie die Richtungen dieser [E]lemente ausserhalb des Auges laufen, ob sie daselbst ebenfalls einen [K]egel oder ein paralleles Bündel bilden oder wohl gar divergiren, [is]t offenbar gleichgültig.

Es ist selbstverständlich, dass ein einfacher Lichtstrahl, wenngleich [d]erselbe nicht die zu einer normalen Funktionirung des Auges erforder[li]che Wirkung thut, doch auch nicht ganz wirkungslos ist. Lichtreiz [ü]bt er immer aus: er nöthigt aber das Auge nicht zur Akkommodation [u]nd erweckt nicht die Vorstellung einer bestimmten Entfernung. Hierzu [g]ehört ein Bündel von Strahlen oder wenigstens eine gewisse Anzahl [ei]ner ein Bündel darstellenden Strahlen. Eine genaue Akkommodation [se]tzt auch voraus, dass der Konzentrationspunkt eines solchen Bündels [ni]cht zu weit vor oder hinter die Netzhaut falle, sodass die Zusam[m]engehörigkeit der einzelnen Strahlen oder die Beziehung der Licht[re]ize der erregten Netzhautpunkte zu ihrem gemeinschaftlichen Zentrum [vo]m Auge empfunden werden kann. Je weiter der Konzentrationspunkt [si]ch von der Netzhaut entfernt oder je grösser der Zerstreuungskreis [w]ird, desto mangelhafter wird diese Empfindung, desto unvollkommener [di]e Akkommodation, desto unrichtiger das Urtheil über die Entfernung [de]s leuchtenden Punktes.

11. Thätigkeit der einzelnen Nervenfasern beim stereoskopi[sc]hen Sehen. Wir haben in der Empfindung der Erschütterungsrich[tu]ngen der Nervensubstanz der Stäbchenschicht darauf aufmerksam ge[m]acht, dass zur genauen Schätzung dieser Entfernung eine scharfe Kon[ze]ntration des Strahlenbündels auf der Netzhaut oder die Akkommoda[ti]on derselben erforderlich ist. Hiernach funktionirt also jedes Stäbchen [o]der jede Faser des Sehnerven mit einer gewissen Selbstständig[k]eit, welche das Bewusstsein der gemeinschaftlichen Zusammengehörig[ke]it aller zu einem Ganzen nicht ausschliesst. Innerhalb dieses einheit-

lichen Bandes erscheint daher jede Nervenfaser als ein selbstständiges Organ, welches empfindet und sein Stäbchen in die Spitze des betreffenden Lichtkegels zu führen strebt. Vermöge des organischen Zusammenhanges der Gewebe kann dieses Bestreben jeder einzelnen Faser sich nicht vollkommen realisiren; es kann auch nur eine gemeinschaftliche Akkommodation des Auges erfolgen: allein prinzipiell bleibt das Sonderbestreben jeder einzelnen Faser bestehen und bedingt das gleichzeitige Urtheil über die verschiedenen Entfernungen der Objekte des Gesichtsraumes oder das stereoskopische Sehen.

Das Bestreben jeder einzelnen Nervenfaser, ihr Stäbchen in die Spitze des betreffenden Strahlenkegels zu führen, wird vom Akkommodationsapparate ausgeführt und die Thätigkeit des letzteren hierzu wird geweckt und ihrer Richtung und Grösse nach bestimmt durch den Zerstreuungskreis, welchen das noch nicht konzentrirte Strahlenbündel auf der Netzhaut entwirft.

Nachdem wir diese Anschauung gewonnen haben, müssen wir das in No. 5 Vorgetragene noch durch Folgendes ergänzen. Wenn wir einen körperlichen Raum mit beiden Augen betrachten; so fallen die Netzhautbilder verschieden entfernter Objekte nicht auf korrespondirende Nervenfasern. Die Einstellung beider Augenaxen auf den zu fixirenden Punkt ist ein Akt der Akkommodation des gesammten Sehapparates. Im Grunde genommen geht das Bestreben dahin, die korrespondirenden Strahlenkegel auf korrespondirenden Nervenfasern zu konzentriren, sodass eine völlig symmetrische Affektion der beiden Augen stattfindet. Beim Blicke mit beiden Augen in den Gesichtsraum entsteht also eine besondere Spannung, welche das Bestreben äussert, jedes korrespondirende Fasernpaar in die Wirkung der gleichen Strahlenkegel zu bringen. Dieses Bestreben kann nur für diejenigen Objekte erfüllt werden, welche in der Horopterfläche liegen oder doch eine gewisse Abweichung davon nicht überschreiten (vergl. §. 13 No. 9 und §. 21 No. 7), für alle näheren und für alle entfernteren aber nicht. Gleichwohl bleibt die Tendenz hierzu bestehen und unterstützt durch die darin liegende vollkommnere Induktion des Akkommodationsapparates, welche zur Erhöhung der Schärfe der Erkenntniss nöthig ist, das Urtheil über die Verschiedenheit der Entfernung der einzelnen Objekte.

12. Schärfung der Erkenntniss durch Isolirung der affizirten Nervenfasern. Wir haben gefunden, dass vermöge des Empfindungsvermögens jedes einzelnen Stäbchens die verschiedenen Entfernungen der Objekte des Gesichtsraumes gleichzeitig erkannt werden, obgleich eine genaue Akkommodation auf alle nicht stattfindet, dass jedoch die Mangelhaftigkeit der Akkommodation die Sicherheit des Urtheils über die einzelnen Entfernungen beeinträchtigt.

Vergegenwärtigt man sich zwei verschieden entfernte Punkte a und b, welche nur einen sehr kleinen Sehwinkel bilden, so werden die Mittelpunkte ihrer Zerstreuungskreise nahe beieinander auf die Netzhaut fallen; die Grösse dieser Kreise wird aber umso verschiedener ausfallen, je verschiedener die Entfernungen von a und b sind. Wenn

ch auch das Auge auf den einen Punkt gut akkommodirt, wird es auf en anderen schlecht akkommodirt sein. Die Zerstreuungskreise von *a* nd *b* werden also, wenn ihr Sehwinkel klein genug ist, immer theil-·eise aufeinander fallen. Hierdurch wird eine gewisse Menge von täbchen in entgegengesetzter Richtung durch die in No. 7 besprochene eitenkomponente affizirt und es ist klar, dass Diess eine besondere Beein-·ächtigung des Urtheils über die Entfernung der beiden Punkte *a* und *b* ır Folge haben muss.

Daraus ersieht man, dass die relative Entfernung zweier Punkte icht so gut erkannt wird, wenn sie nur einen sehr kleinen Gesichtswinkel iteinander bilden. Blickt man an einer nahezu in der Augenaxe liegen-en Linie entlang; so wird das Auge die verschiedenen Entfernungen der unkte dieser Linie nur schlecht schätzen und es wird den Anschein aben, als ob dasselbe sich immer nur auf Entfernungen, welche zwischen renzen liegen, zu akkommodiren vermöge. Wenn der Sehwinkel wächst nd sich zwischen mässigen Grenzen hält, wird die Erkenntniss der ver-hiedenen Entfernungen bestimmter, und demgemäss erkennen wir an örperlichen Objekten von genügender Ausdehnung in der Höhe und reite die Verschiedenheit der Entfernungen oder die Körperlichkeit bes-rr, als an steil gegen das Auge gerichteten Linien.

§. 17.

Mittlere Sehweite.

1. **Erklärung der mittleren Sehweite.** Unter der mittleren ehweite oder der Entfernung des deutlichen Sehens (*distan-ı visionis*) versteht man diejenige Entfernung, in welcher das Auge am härfsten, also kleine Gegenstände am deutlichsten sieht. Diese Entfer-ung beträgt für normale Augen 8 bis 10 Pariser Zoll oder etwa 230 s 270 Millimeter, also durchschnittlich 250 Millimeter.

Es leuchtet ein, dass wenn auch das Auge die Fähigkeit besässe, ch auf jede Entfernung vollkommen zu akkommodiren, die Deutlich-it oder Schärfe des Sehens doch mit der Annäherung der Objekte achsen müsste. Denn je näher das Objekt liegt, desto grösser wird das ück von ihm, welches dem Minimalgesichtswinkel entspricht, d. h. mjenigen kleinsten Sehwinkel, für welchen das Auge überhaupt noch apfindlich ist. Hiernach bedarf es keiner Erläuterung, dass die Deut-hkeit wächst, wenn ein Objekt innerhalb der mässigen Sehweiten über) Zoll, wo anscheinend stets eine gute Akkommodation stattfindet, sich m Auge nähert.

Dass die Deutlichkeit bei Entfernungen unterhalb der mittleren hweite aufhört und sehr rasch abnimmt ist daher ein direkter Be-is, dass hier keine vollkommene Akkommodation mehr stattfindet und ss die Mängel der Akkommodation bei grösserer Annäherung lebhaft achsen.

Diese rasche Verschlechterung des Auges für sehr kleine Sehweiten

befremdet auf den ersten Blick, wenn man erwägt, dass dem Auge die Kraft, sich auf diese kleinen Entfernungen zu akkommodiren, in wesentlichen Beziehungen, namentlich in Beziehung auf die Axenverlängerung, die Verdichtung, die Konvergenz der Augenaxen und die Zusammenziehung der Pupille keineswegs fehlt, dass auch die Entfernung des deutlichen Sehens durchaus keine konstante Grösse für dasselbe Individuum ist, sondern mit den Umständen variirt.

2. Materielle Schranken für die Akkommodation auf zu geringe Entfernungen. Zum Nachweise der letzteren Behauptungen führe ich Folgendes an. Die mittlere Sehweite hängt bei jedem Menschen etwas von der Helligkeit und Farbe des Objektes ab: für hellere Objekte ist dieselbe etwas grösser als für dunklere (vergl. No. 6). Wenn man durch ein feines Loch blickt, verkürzt sich die mittlere Sehweite sehr erheblich, nämlich auf 2 Zoll und weniger. Ohne Zuhülfenahme eines feinen Loches kann man zwar in der Entfernung von 2 Zoll nicht mehr deutlich sehen: allein die Undeutlichkeit charakterisirt sich auf besondere Weise, welche lehrt, dass gewisse Akkommodationsakte präziser ausgeführt werden als andere. Man sieht nämlich den nahen Gegenstand nicht doppelt: daraus folgt, dass der Konvergenzwinkel der Augenaxen richtig ist. Das Objekt erscheint nicht mit Farbensäumen: der Achromatismus und demzufolge die Verdichtung der Medien muss also für genügend befunden werden. Die ganze Undeutlichkeit besteht in Zerstreuungskreisen, welche auf Aberration der Rand- gegen die Zentralstrahlen oder auf Zerstreuung, d. h. auf Abweichung der Netzhaut von der Spitze des Strahlenkegels beruhen. Diese Zerstreuungskreise machen die Grenzen des Objektes und seiner Theile unbestimmt ohne seine Einfachheit und Farbe wesentlich zu beeinträchtigen.

Man muss hieraus den Schluss ziehen, dass die mit der Annäherung nothwendig werdende stärkere Formveränderung des Auges, also insbesondere die stärkere Wölbung der Linse und die stärkere Verlängerung der Augenaxe von allen Veränderungen die grösste Schwierigkeit darbietet. Daraus erklärt sich auch die starke Verengung der Pupille bei der Verkleinerung der Sehweite. Diese Verengung ist allerdings einerseits eine Induktionswirkung, welche mit der Steigerung der Akkommodationsthätigkeit, also mit der Akkommodation auf kürzere Entfernung unvermeidlich verbunden ist; andererseits bildet sie aber auch eine selbstständige Thätigkeit, zu welcher das Auge durch die Aberration der Randstrahlen genöthigt wird. Durch diese Verengung werden die Randstrahlen beschränkt und es wird der Aplanatismus wesentlich verbessert. Je näher ein leuchtender Punkt dem Auge tritt, desto grösser wird bei unveränderter Pupillenweite die Menge der von ihm ins Auge gelangenden Strahlen, desto grösser also die Tendenz des Auges, diese Strahlen zusammenzuführen oder ihre Aberration zu beseitigen, was bei sehr kleinen Sehweiten ohne Verengung der Pupille nicht geschehen kann.

Aus Vorstehendem erklärt sich ferner die Möglichkeit, durch ein feineres Loch in ganz nahen Entfernungen deutlich zu sehen, indem ein solches Loch eine kleinere Oeffnung der Linse herstellt, als die Kontraktion der Iris sie zu erzeugen vermöchte.

Welche Unterstützung das Auge in der Anwendung eines feinen Loches in einem Kartenblatte findet, indem es hierdurch der Nothwendigkeit und der Anstrengung überhoben wird, die Pupille stark zu verengen, geht sehr deutlich theils daraus hervor, dass man mit jenem künstlichen Hülfsmittel die mittlere Sehweite auf wenige Zoll reduziren kann, theils aber daraus, dass sich bei der Anwendung des durchlochten Blattes in Folge des verminderten Lichtreizes sofort die *Pupille erweitert*.

Die letztere Thatsache, dass man durch ein feines Loch bei grosser Pupille die Entfernung des deutlichen Sehens bedeutend verkleinern kann, lehrt endlich, dass von den *Formveränderungen* des Auges die Herstellung der richtigen *Länge der Augenaxe* nicht die grösste Schwierigkeit bereitet, sondern dass Diess mit der Erzeugung der richtigen *Wölbungen* der brechenden Medien, besonders der *Linse* in ihren verschiedenen Abständen von der Axe der Fall ist.

Man kann also sagen, dass der hauptsächlichste Grund der Undeutlichkeit bei zu grosser Annäherung des Objektes weder die *Farbendispersion*, noch die auf unrichtiger Einstellung der Netzhaut beruhende *Zerstreuung* des Lichtbündels, sondern die *Aberration*, d. h. die Verschiedenheit des Brennpunktes der Rand- und der Zentrahlstrahlen ist.

3. Gleichförmigkeit der brechenden Medien bei der Akkommodation auf eine von der mittleren abweichende Sehweite. Wir haben uns im Vorstehenden überzeugt, dass es bei zu geringer Sehweite unmöglich ist, die brechenden Medien in *allen ihren Theilen* mit *normaler Gleichförmigkeit* so *bedeutend* zu verändern, wie es eine vollkommene Konzentration des Strahlenbündels auf der Netzhaut erfordert, und es hat sich dabei zugleich gezeigt, dass die *Randpartie* der brechenden Medien eher ihren Dienst versagt, als die *Zentralpartie*, dass also die Unvollkommenheit des Auges von der Axe nach dem Rande hin zunimmt.

Das letztere Gesetz wird offenbar in jedem Akkommodationszustande stattfinden, d. h. es wird immer die Randpartie des Auges unvollkommener funktioniren als die Zentralpartie, und nur der *Grad* dieser Ungleichmässigkeit wird für die verschiedenen Sehweiten verschieden sein. Bei *sehr kurzen* Sehweiten steigert sich diese *Ungleichförmigkeit*, trotzdem dass die Randpartie immer mehr durch die Iris verdeckt wird, wegen der zu erheblichen Formveränderungen. Bei der *Vergrösserung* der Sehweite über die mittlere entsteht aber eine ähnliche Ungleichförmigkeit als eine unmittelbare Folge der *abnehmenden Akkommodationsanstrengung* und der damit verbundenen Verminderung der allgemeinen *Spannung* der Organe. Diese Ungleichförmigkeit wird noch dadurch erhöht, dass sich mit der Akkommodation auf grössere Entfernung induktorisch die Pupille erweitert, also einen grösseren Theil der Randpartie in Wirksamkeit setzt. In §. 54 werden wir diese Ungleichförmigkeiten näher kennen lernen.

Hiernach kann man annehmen, dass bei der Fixirung eines Objektes in mittlerer Sehweite nicht bloss die *mittleren* Akkommodationsveränderungen der Entfernung am besten entsprechen, sondern dass auch die *einzelnen Theile* jedes optischen Organs des Auges in ihrer gegenseiti-

gen Anordnung zu einem Ganzen am vollkommensten oder mit grösstmöglicher Gleichförmigkeit akkommodirt sind.

4. Mittlere Sehweite für ein Auge. Ich bemerke noch, dass für das Sehen mit einem Auge die mittlere Sehweite etwas kürzer ist, als für das Sehen mit beiden Augen und dass sich beim Schliessen oder Verdecken eines Auges die Pupille des sehenden Auges etwas erweitert und die Axe des verdeckten Auges sich nicht mehr genau auf das Objekt richtet, sondern sich dem Parallelismus mit der Axe des sehenden Auges nähert. Alles Dieses entspringt aus der mit der Absperrung des einen Auges verbundenen Verminderung des Lichtreizes und der sowohl hieraus, als auch aus der einseitigen Affektion des Sehorgans entspringenden Unvollkommenheit der Akkommodation, welcher der vollständige Impuls fehlt, welche sich also dem Zustande nähert, der einer grösseren Sehweite entspricht.

5. Grundprinzip der mittleren Sehweite. Wir haben vorstehend die mittlere Sehweite, wie es gewöhnlich geschieht, dahin definirt, dass sie die Entfernung sei, in welcher man am deutlichsten oder schärfsten sehe.

Erwägt man, dass das Auge die Fähigkeit sich zu akkommodiren mit wachsender Grösse und mit zunehmender Kleinheit der Entfernung immer mehr verliert, dass auch das von der Akkommodationsanstrengung beeinflusste Urtheil über die Grösse der Entfernung sich nach beiden Richtungen immer mehr und mehr schwächt; so gelangt man zu dem Schlusse, dass die mittlere Sehweite für die physiologische Optik eine höhere Bedeutung habe. Die mittlere Sehweite ist meines Erachtens diejenige, in welcher das Auge normal oder richtig sieht, d. h. diejenige, in welcher sein Urtheil über alle optischen Eigenschaften der Dinge, Entfernung, Richtung, Grösse, Lichtstärke, Farbe, der Wirklichkeit entspricht. Die grösste Schärfe oder Deutlichkeit ist ein nothwendiger Ausfluss dieser Eigenschaft: was aber Richtigkeit der Beurtheilung der Grösse und der übrigen Eigenschaften der Dinge betrifft; so werden wir darauf weiter unten zurückkommen.

Schliesslich halte ich auch die mittlere Sehweite für die natürliche, angeborene Längeneinheit, nach welcher das Auge die Entfernungen im Raume misst, und es ist nicht uninteressant, dass die meisten Völker auch zu ihren praktischen Maasssystemen die Länge des Fusses, welche der mittleren Sehweite nahezu gleich ist, als Einheit zu Grunde gelegt haben.

6. Abhängigkeit der mittleren Sehweite von der Lichtstärke und des Akkommodationszustandes von der Lichtstärke und der Entfernung. Indem wir in einem Gesichtsraume von gegebener Helligkeit die Augen aufschlagen, ohne eine Objekt zu fixiren, nimmt die Pupille eine bestimmte Weite an, welche sich mit wachsender Helligkeit vermindert und mit abnehmender Helligkeit vermehrt. Es ist der allgemeine Reiz, welchen das Licht auf die Netzhaut ausübt, in Folge dessen die Iris sich auf eine bestimmte Pupillenweite kontrahirt. Da die

ewegung der Iris induktorisch alle Akkommodationsakte beeinflusst; so ird das Auge in Folge des allgemeinen Lichtreizes veranlasst, sich ıf eine bestimmte, mit jener Pupillenöffnung harmonirende ehweite zu akkommodiren, welche wir die durch die Helligkeit nduzirte Sehweite nennen wollen.

Hierbei ist von einem unaufmerksamen, d. h. von einem Auge die ede, welches kein Objekt fixirt, welches nicht vom Visorium aus zum hen angestrengt wird. Sowie das Auge ein Objekt fixirt, entsteht das streben, so genau wie möglich zu sehen; das Auge akkommodirt sich stmöglich auf die Entfernung des Objektes, vollständig befriedigt hlt sich das Auge aber nur dann, wenn das Objekt in die mittlere er in die Sehweite des deutlichen Sehens rückt. Da nun die allmeine Helligkeit des Gesichtsraumes ein Induktionsreiz zur Herstellung ıer bestimmten Sehweite für das unthätige Auge ist; so wird jene lligkeit unzweifelhaft einen Einfluss auf die Güte der Akkommodaon äussern, welche das Auge auf ein bestimmtes Objekt von gegebe- Entfernung und Lichtstärke in diesem Gesichtsraume zu realisiren rmag, und ebenso wird jene Helligkeit die mittlere Sehweite und ı absolut höchsten Grad der Vollkommenheit der Akkomodation auf die mittlere Sehweite beeinflussen.

Die Art und Weise dieser Beeinflussung geht aus Folgendem hervor. i einer bestimmten Helligkeit des Gesichtsraumes, der mittleren Tashelle, wird die absolut beste Akkommodation in der mittleren Sehite von etwa 10 Zoll auf ein Objekt erreicht, welches eine bestimmte, mitte Lichtstärke hat. Die durch die Helligkeit induzirte Sehweite ist in sem Falle entschieden grösser als die mittlere. Das unthätige oder am scharfen Sehen verhinderte Auge, also das Auge des Wanderers, cher die Gehirnthätigkeit vornehmlich auf den motorischen Apparat Muskelbewegung lenkt, oder das zerstreute Auge des im Naturuss behaglich Schwelgenden oder das Auge des von Gemüthsaffek- in Anspruch genommenen Beschauers eines Gemäldes oder das Auge auf Musik Lauschenden hat bei gewöhnlicher Tageshelle die Neig, sich auf erheblich grössere Entfernungen zu akkommodiren. Nur forschende Auge, welches das geistige Verlangen eines scharfen kennens äusserer Objekte befriedigen soll, besonders wenn diese Obe sehr klein sind, sodass selbst zu einer mässig genauen Erkenntniss erhebliche Vergrösserung des Sehwinkels erforderlich ist, wie beim sen und Schreiben der kleinen Buchstaben, trachtet danach, das ekt in der mittleren Sehweite anzuschauen.

Rückt das Objekt noch näher; so ist das Auge immer weniger im nde, der erheblichen Akkommodationsveränderung zu folgen; die zur commodation aufgewandte Kraft ist zu schwach, die Augenaxe ibt zu kurz, das Auge ist nicht nahe genug, also zu weit akmodirt, ausserdem aber herrscht nicht die gehörige Gleichmigkeit in der Akkommodation der einzelnen Elemente der brenden Medien, in Folge deren die Aberration erheblich wächst, und isch fehlt die nöthige Übereinstimmung zwischen den einzel- Akkommodationsakten, indem die Linse bei der Länge der Au-

genaxe zu flach gewölbt oder die Augenaxe bei der Wölbung der Linse zu kurz ist.

Entfernt sich dagegen das Objekt vom Auge, indem es nicht bloss die mittlere, sondern auch die durch die Helligkeit induzirte Sehweite überschreitet; so wird dasselbe offenbar durch den Induktionsreiz der Helligkeit verhindert, hinreichend zu erschlaffen oder seine Axe hinreichend zu verkürzen, die Akkommodationsanstrengung bleibt also zu stark, die Augenaxe zu lang und das Auge ist zu nahe akkommodirt.

Was den Zwischenraum zwischen der mittleren und der durch die Helligkeit induzirten Sehweite betrifft; so liegt die Sehweite, auf welche sich das Auge am leichtesten oder liebsten akkommodirt, unstreitig innerhalb dieses Zwischenraumes: allein die vollkommenste Akkommodation hängt nicht von der Leichtigkeit ab, womit das Auge sie vollzieht, sondern lediglich von der bestmöglichen Erfüllung der optischen Bedingungen, welche an ein gutes Linsensystem zu stellen sind. Die vollkommenste Akkommodation findet daher immer nur in der mittleren Sehweite statt und erfordert immer eine gewisse Anstrengung des Auges.

Überschreitet die Entfernung des Objektes diese mittlere Sehweite, ohne jedoch die durch die Helligkeit induzirte Sehweite zu erreichen; so ist allerdings diese Helligkeit kein Hinderniss, um die Augenaxe genügend zu verkürzen, also auch kein Reiz, um die Augenaxe zu sehr zu verlängern; diese Wirkung thut die Helligkeit nach Vorstehendem erst bei solchen Entfernungen, welche die durch die Helligkeit induzirte Sehweite überschreiten. Es kömmt aber jetzt noch die mit der Vergrösserung der Sehweite immer mehr einreissende Nichtübereinstimmung der einzelnen Akkommodationsakte in Betracht. War bei den kleinen Sehweiten die Linse für die Länge der Augenaxe zu schwach gewölbt; so ist sie bei den grösseren Sehweiten zu stark gewölbt oder die Augenaxe ist für die Wölbung der Linse zu lang. Man kann aber mit Grund annehmen, dass bei einer solchen Ausartung der normalen Verhältnisse eines Systems von Organen nicht bloss ein einzelnes Organ, sondern dass jedes Organ aus der Normalität heraustritt, dass also nicht etwa die Linse allein sich abnorm und zwar zu stark wölbe, sondern dass auch die Augenaxe eine abnorme und zwar eine zu grosse Länge annehme.

Demnach nehmen wir an, dass nur bei der mittleren Sehweite eine ganz normale Akkommodation stattfinde, dass aber bei kleineren Sehweiten die Augenaxe zu kurz und die Linse zu flach, bei grösseren Sehweiten dagegen die Augenaxe zu lang und die Linse zu stark gewölbt ist.

Wenn bei dem Bestreben, das Auge auf einen sehr nahen Punkt besser zu akkommodiren, die Pupille sich etwas verengt; so zeigt sich darin eine Induktionswirkung der Thätigkeit, welche die Augenaxe auf das normale Maass zu verlängern trachtet, und wenn umgekehrt bei dem Bestreben, das Auge auf einen entfernten Punkt besser zu akkommodiren, die Pupille sich etwas erweitert; so erkennt man darin eine Induktionswirkung der Thätigkeit, welche die Augenaxe auf das normale Maass zu verkürzen sucht. Diese entgegengesetzten Veränderungen der Pupille bestätigen, dass in der That die Abweichung des Akkommodationzustandes

von dem normalen bei grosser Sehweite die entgegengesetzte von der bei kleiner Sehweite stattfindenden ist.

Indem das Auge ein Objekt fixirt, akkommodirt es sich zwar auf dessen Entfernung möglichst gut, wenn auch die durch die Helligkeit induzirte Sehweite von dieser Entfernung abweicht; allein mit der Differenz zwischen diesen beiden Entfernungen wächst die Schwierigkeit der Akkommodation und es steigern sich die unangenehmen Empfindungen, welche daraus entspringen, dass die Helligkeit das Auge zu Veränderungen nöthigt, welche den zur Akkommodation oder Deutlichkeit erforderlichen widerstreiten, dass also widerstrebende, einander beeinträchtigende, also den Organismus ohne Befriedigung angreifende Anstrengungen gemacht werden müssen.

Aus diesem Grunde verursacht es Schmerzen und ist fast unmöglich, in einem sehr hell erleuchteten Raume entfernte Gegenstände zu fixiren. Die Helligkeit strebt die Pupille stark zu verengen, und die Akkommodation auf grosse Entfernung verlangt Erweiterung der Pupille. Beim Blicke gegen den hellen Himmel vermag man nicht einen Wolkenpunkt zu fixiren, ein solcher Blick ist unerträglich; an dem unwiderstehlichen Schliessen der Augenlider kann man auf die Verengung der Pupille schliessen, ohne dieselbe zu sehen; das Auge trachtet nach Verkürzung der Sehweite, und in der That mildert sich die unangenehme Empfindung sehr, wenn man angesichts desselben leuchtenden Hintergrundes das Auge auf eine kurze Sehweite akkommodirt oder nahe Gegenstände fixirt. Die Schwierigkeit, direkt in die Sonne zu blicken, liegt nur zum kleinsten Theile in der absoluten Höhe der Lichtstärke; denn durch ein feines Loch kann man sehr wohl in die Sonne sehen und die Pupille vermag sich bis auf das Kaliber eines solchen Loches zu verengen, also den Strahlenkegel auf einen erträglichen Querschnitt zu reduziren. Der Schmerz entspringt daraus, dass das Auge gleichzeitig auf eine unendliche Sehweite sich akkommodiren, also induktorisch die Pupille öffnen soll, was dem ersteren Zwange widerstreitet und ausserdem den intensiven Strahlenkegel vergrössert. Die mit der Akkommodation auf grosse Entfernungen verbundene Ermässigung der Spannung ist also in einem hellen Gesichtsraume keine Erleichterung, sondern eine Erschwerung des Sehens.

Der Aufenthalt im Freien bei brennendem Sonnenscheine, besonders in Gegenden, wo hellfarbige Wege, Plätze, Häuser vorherrschen, wird wesentlich nur durch die Nothwendigkeit unausstehlich, das Auge auf die Ferne akkommodiren zu müssen. Nur aus diesem Grunde wirkt auch eine von der Sonne beschienene helle Hauswand vor unserem Arbeitszimmer auf der entgegengesetzten Seite der Strasse unangenehm auf das Auge: die absolute Lichtstärke derselben ist meistens unbedeutend; der Blick wird nur unangenehm durch die Entfernung der Wand, worauf das Auge beim Aufblicken sich akkommodiren muss: man könnte die nahen Objekte des Zimmers selbst, in welchem wir uns befinden, durch Kerzen noch viel heller erleuchten, ohne jene unangenehme Wirkung hervorzurufen. Ein helles Objekt von bestimmten Formen wirkt in dieser Hinsicht energischer, als ein ebenso heller formloser Hintergrund, wie z. B. der Himmel, weil jenes Objekt einen viel kräftigeren Zwang zur Akkommodation auf eine bestimmte Entfernung ausübt als die formlose

Luft, welche aus den verschiedensten Entfernungen leuchtet und in keinem einzelnen Punkte eine besondere Aufmerksamkeit erregt. Dieser Vorzug der formlosen Luft hat übrigens seine Grenze; es ist immer ein Grad der Erleuchtung möglich, wo der helle Himmel oder die in das Zimmer scheinende Sonne unangenehmer wird als eine bestrahlte Hauswand von gegebener Helligkeit. Diese Thatsachen sind hinreichend bekannt; die Ursache davon wird aber gewöhnlich einer mysteriösen Wirkung des reflektirten Lichtes zugeschrieben, eines Lichtes, welches bei einer Hauswand gar nicht einmal besteht. Das von einer solchen Fläche ausgehende und in das Auge des Beschauers gelangende Licht ist lediglich diffundirtes Licht, zu dessen Aussendung die Moleküle der Hauswand durch den Impuls der Sonnenstrahlen veranlasst werden, welches also diese Wand zu einem leuchtenden Körper von der gewöhnlichsten Art macht.

Umgekehrt ist es schwer, in einem zu schwach erhellten Raume das Auge auf nahe Gegenstände zu akkommodiren. Die Etikette auf dem inneren Boden des Hutes oder eine darauf geklebte Schrift sieht man, indem man den Hut vor das Gesicht hält, immer mehr und mehr verschwimmen, je mehr man damit in das Dunkel tritt, und es ist leicht zu erkennen, dass dieses Verschwimmen die Folge von Zerstreuungen und Aberrationen ist, welche auf einer unwiderstehlichen Vergrösserung der Akkommodationsweite beruhen. Man muss das Auge immer mehr anstrengen und auf eine kürzere Sehweite zu akkommodiren suchen, um die Deutlichkeit des Gesichtseindruckes aufrecht zu erhalten.

Mit Hülfe eines feinen Loches in einem Kartenblatte kann man jedoch ziemlich leicht die helle und entfernte Sonne fixiren, weil jetzt, wo die Randpartie der Pupille abgeschlossen ist, das Bestreben zur Beseitigung der Aberration oder zur Verengung der Pupille nicht mehr so stark vorliegt, also der mehrerwähnte Widerstreit nicht obwaltet.

Was nun den Einfluss der äusseren Helligkeit auf die mittlere Sehweite betrifft; so muss man, wenn die Helligkeit nicht die normale ist, bei dem Begriffe der mittleren Sehweite zwei Dinge unterscheiden: die Anstrengung des Auges und die Deutlichkeit des Eindruckes.

Fragt man zuerst nach derjenigen Sehweite, welche die nämliche Anstrengung verursacht, wie die mittlere Sehweite bei normaler Helligkeit, ohne Rücksicht auf die Deutlichkeit; so ist klar, dass dieselbe bei abnehmender Helligkeit grösser und bei zunehmender Helligkeit kleiner wird, oder dass dieselbe immer zwischen der mittleren und der durch die Helligkeit induzirten Sehweite liegt, weil die von der Helligkeit herrührende Veränderung der Pupille eine solche Abweichung der Akkommodationsthätigkeit induktorisch, also ohne Veränderung der Anstrengung nach sich zieht: erst wenn bei wachsender Intensität der Lichtreiz ein gewisses Übermaass überschreitet, entsteht vermöge der zu sehr gesteigerten unmittelbaren Affektion des Sehnerven eine besondere Anstrengung, welche auf der zu grossen Intensität des sensuellen Nervenprozesses beruht. Im dunkleren Raume betrachtet man also mit derselben Anstrengung entferntere Objekte, im helleren Raume dagegen nähere. Die Deutlichkeit ist jedoch in beiden Fällen geringer, als die mit derselben Anstrengung im

normal hellen Raume erreichbare: es bilden sich in beiden Fällen Zerstreuungskreise; im ersten Falle liegt übrigens der Konvorgenzpunkt vor der Netzhaut und im zweiten Falle hinter derselben.

Verlangt man dagegen die nämliche Deutlichkeit, wie die bei mittlerer Sehweite und normaler Helligkeit stattfindende, ohne Rücksicht auf die Anstrengung; so ergiebt sich das Umgekehrte. Nimmt die Helligkeit ab, so muss die Sehweite verkleinert werden, nimmt sie zu; so muss sie vergrössert werden. Denn die höchste Deutlichkeit erfordert den mit der mittleren Sehweite verbundenen Akkommodationszustand, also auch die dabei obwaltende Länge der Augenaxe. Nimmt nun die Helligkeit ab; so erweitert sich die Pupille und demzufolge verkürzt sich induktorisch die Augenaxe: die Axe muss also verlängert werden und Diess kann nur durch Verkleinerung der Sehweite geschehen. Nimmt dagegen die Helligkeit zu; so verengt sich die Pupille und demzufolge verlängert sich die Augenaxe: die Letztere muss mithin verkürzt werden, was nur durch Vergrösserung der Sehweite geschehen kann.

Hiernach verkürzt sich die Weite des Sehens von normaler Deutlichkeit bei abnehmender Helligkeit und verlängert sich bei zunehmender Helligkeit. Die Deutlichkeit bleibt der normalen gleich: die Anstrengung aber ändert sich, und zwar wird sie bei abnehmender Helligkeit, wo sich das Auge mehr verlängern muss, grösser, bei zunehmender Helligkeit dagegen, wo sich das Auge mehr verkürzen muss, kleiner.

Dass sich bei der Anwendung eines feinen Loches die mittlere Sehweite in allen Fällen bedeutend verkürzt, ist sehr erklärlich, da jetzt das Haupthinderniss, welches dem freien Auge bei der näheren Anrückung des Objektes im Wege steht, nämlich die Aberration der Randstrahlen beseitigt ist.

Aus Vorstehendem erkennt man den Grund, warum das Lesen und Schreiben in der Dämmerung zur Annäherung des Auges an das Papier nöthigt, und zugleich die Ursache, warum hiermit eine erheblichere Anstrengung des Auges verbunden ist. Auch geht hieraus hervor, dass ein recht hell erleuchteter Raum zum Lesen und Schreiben für das Auge wohlthätig ist, weil dasselbe alsdann die mittlere Sehweite verlängern kann und sich schwächer zu akkommodiren braucht. Selbstverständlich darf die Erleuchtung nicht so intensiv werden, dass die durch die Helligkeit induzirte Sehweite kürzer wird als die mittlere oder den vorhin erwähnten übermässigen Reiz auf den Sehnerven ausübt.

7. **Einfluss der Lichtstärke des fixirten Objektes.** Schliesslich muss hervorgehoben werden, dass die Helligkeit des Gesichtsraumes die Resultante der Lichtstärke aller einzelnen Objekte ist. Jedes Objekt sucht vermöge seiner Lichtstärke das von ihm getroffene Stäbchen der Netzhaut in die entsprechende Lage zu führen und das Auge in der Richtung des betreffenden Strahlenkegels zu akkommodiren. Aus diesen einzelnen Bestrebungen geht vermöge der organischen Verbindung aller Elemente ein Mittelzustand hervor, welcher den mittleren Akkommodationszustand des Auges ausmacht.

Gleichwohl besteht für jedes Stäbchen die Tendenz zu einer beson-

deren Akkommodation, welche auch bis zu einem gewissen Grade in Erfüllung geht und bewirkt, dass die Krümmungen des Auges nicht ganz regelmässig bleiben. Es ist klar, dass diese Tendenz in der Art eine Rolle spielt, dass die Lichtstärke des fixirten Objektes die mittlere Sehweite und sonstigen Effekte mit bedingt. Das Nämliche gilt denn auch noch von der Grösse oder dem Sehwinkel des Objektes, weil die Wirkung auf einen gewissen Theil der Netzhaut umso energischer und für die dort anzunehmende Form umso bestimmender ist, je mehr benachbarte Stäbchen in derselben Weise affizirt werden.

Im Wesentlichen steigert in demselben Gesichtsraume oder vielmehr bei derselben Gesammterleuchtung des Auges ein Objekt die obigen Effekte der vermehrten Helligkeit, insofern seine Helligkeit die normale überschreitet, je heller oder je grösser es ist, und dasselbe steigert die Effekte der verminderten Helligkeit, insofern seine Helligkeit unter der normalen liegt, je dunkeler oder je kleiner es ist.

Ebenso spielt die nächste Umgebung des fixirten Objektes eine nach dem Vorstehenden leicht zu entziffernde Rolle.

In der Dämmerung ist das Lesen und Schreiben umso angreifender, je grauer das Papier, je kleiner die Blätter und je kleiner die Schrift ist. Dagegen ist diese Arbeit in einem hellen Zimmer umso weniger angreifend, je weisser das Papier, je grösser die Blätter und je grösser die Schrift ist. In letzterem Falle kann jedoch durch Steigerung der Helligkeit, insbesondere der Papierfläche, z. B. durch direkte Bestrahlung des Papiers von der Sonne das vorhin erwähnte Übermaass des Lichtreizes erreicht werden, welches theils an sich, theils dadurch schädlich wird, dass die Induktion durch die Helligkeit mit der Akkommodation auf die Sehweite in Widerspruch tritt.

8. **Optometer.** Mit dem Namen Optometer ist jede Vorrichtung belegt, welche dazu dient, die mittlere Sehweite, d. h. die Entfernung des scharfen Sehens oder überhaupt eine Sehweite, welche einen bestimmten optischen Effekt liefert, zu messen. Es liegt auf der Hand, dass man diesen Zweck auf mancherlei Weise erreichen kann und dass dem Einen diese dem Anderen jene Disposition bequemer und zuverlässiger erscheint. Da es sich hierbei immer um eine einfache Prozedur handelt, welche auch nur einfache Mittel erfordert; so wird es nicht nöthig sein, bei diesem Gegenstande zu verweilen: nur auf Eines möchte ich aufmerksam machen.

Um zu verhindern, dass der gleichzeitige Anblick mehrerer Objekte die Aufmerksamkeit zerstreut oder das Urtheil über die Schärfe, womit ein bestimmter Punkt erscheint, beeinflusst, auch um dem Auge des zu Prüfenden, welcher vielleicht ein Interesse an einer Täuschung hat, alle Gelegenheit zu entziehen, durch den Blick auf die Zwischenweite sich selbst bei unvollständiger Akkommodation ein möglichst sicheres Urtheil über die Entfernung zu bilden, pflegt man das Gesicht des zu Prüfenden mittelst eines dunkelen Kastens zu umhüllen und dem Auge nur eine kleine Öffnung durch eine in den Kasten hineinspringende Röhre zu gewähren.

Für gewisse und ganz spezielle Zwecke mag diese Disposition nützlich sein: im Allgemeinen kann sie jedoch zu Irrthümern führen. Die

mittlere Sehweite hängt nämlich, wie in No. 6 erwähnt, von der Helligkeit des Raumes rings um das Auge herum ab und wird auch durch einen ungewöhnlichen Zwang, welchen das Auge erleidet, beeinflusst. Insbesondere verkürzt sich die mittlere Sehweite durch die Verdunkung des Auges, durch den Blick durch Röhren, auch wie wir schon bemerkt haben, durch den Blick durch feine Öffnungen, welche kleiner sind, als die Pupille. So bin ich nicht im Stande, mit freiem Auge in einer Entfernung von 5 Zoll ganz scharf zu sehen, wohl aber unter Zuhülfenahme einer Röhre oder eines Tubus von etwa 1 Zoll Durchmesser. Ebenso würde ich mit Hülfe eines solchen Tubus aus einer etwas näheren Entfernung lesen, als ohne denselben.

Endlich ist zu beachten, dass die mittlere Sehweite sich beim Gebrauche nur eines Auges und besonders beim Zudrücken des Augenlides des anderen Auges verkürzt (No. 4).

§. 18.

Beurtheilung der Richtung, des Sehwinkels und der absoluten Grösse.

1. Richtung. Wenn es sich um die Richtung der Sehlinie, d. h. um die Richtung der Linie handelt, in welcher wir einen Punkt erblicken; so besteht der allgemeinere Fall darin, dass dieser Punkt nicht gerade der fixirte Punkt, sondern irgend ein beliebiger Punkt des fixirten Objektes sei und es kömmt dabei zweierlei in Betracht; einmal die Abweichung jener Linie von unserer Kopfaxe oder die absolute Lage des Punktes im Raume, ausserdem aber die Abweichung jener Linie von derjenigen Richtung, in welcher wir den fixirten Punkt des Objektes erblicken, also die relative Lage der Punkte eines Objektes gegeneinander oder die Form des Objektes.

Ich stelle nun folgende Sätze auf.

1. Das Auge empfindet durch die sensuelle oder optische Thätigkeit des Sehnerven durchaus nicht eine Abweichung von der Kopfaxe, sondern nur von der Augenaxe.

2. Der Muskelapparat des Auges giebt uns durch das Muskelgefühl Zeugniss über die Abweichung der Augenaxe von der Kopfaxe; die Vorstellung von der Richtung der Augenaxe beruht also nicht auf einer optischen, sondern auf einer motorischen Thätigkeit.

3. Indem der Sehnerv oder die Netzhaut die Abweichung eines Punktes von der Augenaxe und der Muskelapparat die Abweichung der Augenaxe von der Kopfaxe zur Erkenntniss bringt, führt die Kombination oder die Gemeinschaftlichkeit dieser physiologischen Thätigkeiten zur Erkenntniss der Richtung der Sehlinie in Beziehung zur Kopfaxe.

4. Hiernach giebt also das Muskelgefühl überhaupt nicht die Stellung eines Objektes, sondern die Stellung der Augenaxe an, und umgekehrt giebt das Auge oder die sensuelle Thätigkeit nicht die

Stellung der Augenaxe, und auch direkt nicht die Lage des Objektes zur Kopfaxe, sondern die Lage des Objektes zur Augenaxe an.

5. Die vorstehenden Sätze würden ganz wörtlich zu nehmen sein, wenn das Gesichtsorgan nur aus einem einzigen, in der Kopfaxe liegenden Auge bestände, sodass bei geradem Blicke die Augenaxe in der Kopfaxe läge. Die Verdopplung des Apparates macht jedoch einige Ergänzungen nöthig.

Gleichviel, ob wir mit dem linken oder mit dem rechten oder mit beiden Augen einen Punkt fixiren, das Muskelgefühl giebt uns immer Zeugniss über die Abweichung der mittleren Augenrichtung, d. h. der vom Konvergenzpunkte der Augenaxen nach der Mitte der Stirn gezogenen Linie von der Kopfaxe. Wo wir also im Vorstehenden von der Stellung und Abweichung der Augenaxe gesprochen haben, ist an die Stellung und Abweichung dieser mittleren Augenrichtung zu denken.

Dass wir wirklich von dieser mittleren Augenrichtung Zeugniss erlangen, geht deutlich aus folgendem Versuche hervor. Liegt das Objekt in der Kopfaxe; so erscheint es bei der Betrachtung mit beiden Augen stets gerade vor uns, wie nahe es auch sei, wie stark also jede einzelne Augenaxe sich gegen die Kopfaxe neige. Hält man sich ein schmales Objekt in der Kopfaxe nahe vors Gesicht und betrachtet es nur mit einem Auge, etwa dem rechten; so scheint es etwas nach links abzuweichen und zwar umso mehr, je näher es ist. Versucht man ferner bei verdecktem linken Auge, also bei sehendem rechten ein solches Objekt dergestalt nahe vor das Gesicht zu halten, dass es mitten vor dem Gesichte liegt; so findet man, dass man das Objekt zu weit nach rechts gestellt hat. Die letzten beiden Thatsachen bestätigen aber unsere Ansicht ebenso wie die erste, wenn man erwägt, dass beim Verdecken oder Schliessen des linken Auges dessen Axe wegen des unvollständigen Reizes nicht genau auf das fixirte Objekt, sondern schwächer konvergirt, nämlich nach links abweicht. Die mittlere Augenrichtung weicht also gegen die vom Objekte nach der Mitte der Stirn gezogenen Linie nach links ab: demgemäss erscheint uns das mitten vors Gesicht gehaltene Objekt nach links abweichend, und wenn wir den Eindruck der Mittelstellung haben wollen, müssen wir das Objekt nach rechts aus der Mitte rücken.

Indem wir nach Vorstehendem die mittlere Augenstellung stets durch das Muskelgefühl erkennen, bleibt für die sensuelle Augenthätigkeit nur die Erkenntniss der Abweichung der einzelnen Punkte des Objektes von dem fixirten Punkte übrig.

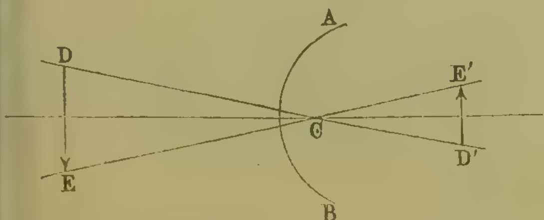
Der fixirte Punkt erscheint uns stets als ein einfaches Objekt, gleichviel ob wir ihn mit einem oder zwei Augen betrachten, und wir haben in den früheren Paragraphen gesehen, dass vermöge der Identität der Netzhautstellen das eine Auge wie das andere über die Abweichung vom physiologischen Pole nach derselben Seite hin dasselbe Zeugniss ablegt, dass also die Vorstellungen über die Abweichung der einzelnen Punkte des Objektes von dem fixirten Punkte oder über die Form des Objektes trotz der Verdopplung des Sehapparates völlig bestimmt ausfallen werden.

Da nun durch das Muskelgefühl eine ebenso bestimmte Vorstellung

über die Richtung der mittleren Augenaxe oder über die Richtung der von der Stirn nach dem fixirten Punkte führenden Linie in Beziehung zur Kopfaxe erlangt wird; so erhellt, wie die motorische und die sensuelle Thätigkeit in ihrer gemeinsamen Wirkung die absolute Richtung für jeden einzelnen Punkt des Objektes sicher festlegen.

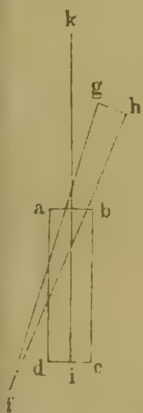
2. Wirkung der Stäbchenschicht. Über die sensuelle Thätigkeit des Auges bei der Erkenntniss des relativen Verhältnisses der einzelnen Punkte des Objektes zu dem fixirten Punkte oder allgemein zueinander ist nun noch zu bemerken, dass das Auge den Lichtreiz in irgend einem Punkte D' der Netzhaut (Fig. 149) in einer Weise empfindet, womit sich bei der geistigen Erkenntniss immer die Vorstellung einer Richtung verbindet. Für den fixirten Punkt des Objektes, welcher die Stäbchen auf den physiologischen Polen der Augen affizirt, ist diese Richtung die der mittleren Augenaxe oder der Mittellinie der Axen der Stäbchen an enen Polen. Für jeden anderen Punkt des Objektes entspricht ene Richtung der Mittellinie der Axen der betreffenden korespondirenden Stäbchen, auf welche die Netzhautbilder illen.

Fig. 149.



Abstrahiren wir also von der Kombination der Doppelthätigkeiten, ie sie der verdoppelte Sehapparat mit sich bringt; so können wir kurz gen, dass das Auge den Lichtreiz in der Richtung der Stäbnen oder insofern dieselben normal auf der Netzhaut stehen, in noraler Richtung zur Netzhaut empfinde. Diese Annahme, welche ch weiter unten noch an vielen Erscheinungen bestätigen wird, bildet ne nothwendige Konsequenz der Rolle, welche wir im Früheren den Stäbchen bei der Bildung des Lichteindruckes zugeschrieben haben (vergl. u. A. §. 4 No. 13, §. 10 No. 6, §. 13 No. 9 — 11, §. 16 No. 7, 11, 12, §. 21).

Fig. 150.



Die Annahme über die Empfindlichkeit der Netzhaut bedarf noch einer genaueren Präzisirung. Wenn gfh (Fig. 150) ein Strahlenkegel ist, welcher die Netzhaut trifft; so haben wir in §. 16 No. 7 die Ansicht aufgestellt, dass die Nervenmasse, indem sie von den verschieden gerichteten Strahlen gf, hf erschüttert wird, das Verhältniss der Komponenten gh und gf empfindet und dass auf dieser Empfindung das Urtheil über die Entfernung beruht. Hierbei spielt die Absonderung der Netzhaut in einzelne Stäbchen keine wesentliche Rolle. Durch die Isolirung der Masse $abcd$ zu einem Stäbchen, welches nach allen Seiten durchsichtig ist, also die Strahlen auch in die Masse des Nach-

barstäbchens durchlässt, wird nicht verhindert, dass die ganze Nervenmasse nach dem in §. 16 erläuterten Prinzipe affizirt wird. Gleichwohl ist aber diese Isolirung auch wiederum nicht ohne besonderen Einfluss auf das System von Vibrationswellen, welches sich durch den Impuls des Strahlenkegels in der Nervenmasse bildet. So können verschiedene Körper von demselben akustischen Tone getroffen werden und in diesem Tone erklingen, dessenungeachtet aber sehr verschiedene Klangfiguren annehmen.

Ich stelle nun die Ansicht auf, dass sich in dem Systeme der stehenden Erschütterungswellen, welches sich in dem Stäbchen erzeugt, vorzugsweise die mit der Axe dieses Stäbchens parallele Komponente ausbildet, da nach der Form des Stäbchens nur diese Komponenten der einzelnen Elementarstrahlen nahe zusammenfallen, während die normal darauf stehenden und verhältnissmässig kleinen Komponenten sich über die ganze Länge des Stäbchens vertheilen. Das Stäbchen empfindet also, ausser dem Verhältnisse der obigen Seitenkomponenten, die mit seiner Axe zusammenfallende Richtung der stehenden Erschütterungswellen oder die Haupterschütterungsrichtung und auf dieser Empfindung beruht die Erkenntniss der Richtung des Lichtstrahles.

Der Lichtstrahl scheint uns daher immer in der Richtung des Stäbchens zu liegen. Bei vollständiger Akkommodation, wo sich der Strahlenkegel auf einen Punkt der Netzhaut konzentrirt, entspricht die Richtung des getroffenen Stäbchens auch der Richtung der Axe des Strahlenkegels.

In regelmässigem Zustande des Auges ist die Krümmung der Netzhaut in dem Bezirke, wo überhaupt deutliche Lichtbilder entstehen, nahezu kugelförmig und die Normalen $D'D$ gehen durch den Mittelpunkt C dieser Kugel, welcher zugleich der Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen DD' (oder vielmehr der hintere Knotenpunkt d. h. der Konvergenzpunkt der inneren Theile der wirksamsten Strahlen) ist (Fig. 149). In der Richtung dieser Normalen liegen auch bei regelmässigem Zustande des Auges die Stäbchen. Man kann daher auch sagen, dass die empfundene Richtung des Strahlenkegels in regelmässigem Zustande normal auf der Netzhaut steht oder durch den Kreuzungspunkt (hinteren Knotenpunkt) geht.

Weicht die Netzhaut von der Kugelform ab; so bleibt doch noch die Axe des Stäbchens normal auf der Netzhautfläche. Nur in ganz ungewöhnlichen Fällen mag es vorkommen, dass die Stäbchen eine Neigung gegen die Oberfläche der Netzhaut annehmen.

Die auf diese Weise durch die sensuellen Nerven unmittelbar empfundene Richtung einer Linie $D'D$ bezieht sich nicht auf die Kopfaxe, sondern auf die Augenaxe FC.

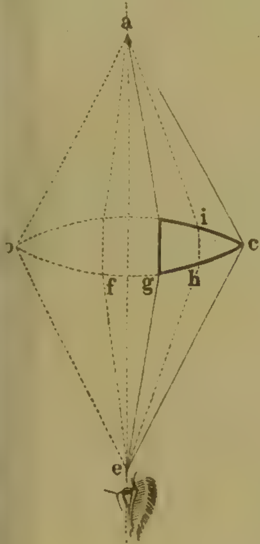
3. **Drang zur Einstellung der Augenaxe.** Indem wir die Aufmerksamkeit auf einen im Netzhautbilde liegenden Punkt lenken, erhöhen wir die Spannung der Nervenfaser, deren Stäbchen in jenem Punkte liegt. Wenn diese Faser nicht die Zentralfaser des Sehnerven ist, befindet sich das Auge unter dieser exzentrischen Spannung nicht im Zu-

ande des optischen Gleichgewichts. Dasselbe dreht sich also sofort un- er dem direkten Einflusse des äusseren Lichtreizes um seine Axe so, dass er fixirte Punkt seinen Reiz auf die Zentralfaser ausübt. Die Einstel- ıng der Augenaxe auf den fixirten Punkt erscheint daher als eine nfreiwillige Akkommodationsbewegung unter der Herrschaft bestimm- er Kräfte.

Aber auch wenn die Axe des Strahlenbündels ein Stäbchen in schrä- er Richtung trifft, wird dasselbe unsymmetrisch, in einer seiner Or- anisation nicht entsprechenden Weise affizirt. Hieraus entspringt sofort as Bestreben, sich diesem naturwidrigen Angriffe zu entziehen, oder sich it den sollizitirenden Kräften in Gleichgewicht zu setzen. Dieses Be- reben nöthigt das Auge ebenfalls, sich so zu drehen, dass die Axe des trahlenkegels in die Axe des Stäbchens fällt.

Der letztere Fall kömmt z. B. vor, wenn in die Pupille nicht ein oller, um eine Axe symmetrisch geordneter Strahlenkegel *bec* (Fig. 151), sondern ein unsymmetrischer Kegel oder ein seitliches Stück eines normalen Kegels fällt, was z. B. sofort geschieht, wenn die Pupille nicht ganz frei, sondern etwa von einer Seite verdeckt oder nur in einem seitwärts liegenden Punkte zugänglich ist. Obgleich das optische Bild *e* an derselben Stelle verbleibt; so wirkt doch der volle Kegel *bec* wie ein in der Richtung *ea* liegender Punkt, der unvollständige Kegel *ceg* jedoch wie ein in der Richtung *eh* liegender Punkt. Das Auge stellt sich also auf den ersten Strahlenkegel anders ein, als auf den zweiten.

Fig. 151.



4. Einstellung auf den physiologischen Pol. Was im Vorstehenden von der Einstellung der Augenaxe gesagt ist, gilt nach §. 10 No. 4 von der physiologischen Axe, deren Pol der Mittelpunkt des Sehfeldes ist und mit dem ysiologischen Pole des anderen Auges als Mittelpunkt der identischen etzhautstellen korrespondirt. Auf diesen Pol, welcher möglicherweise n dem optischen und von dem geometrischen Pole abweichen kann, ellt sich das Auge ein, d. h. es stellt sich so, dass das Lichtbild des irten Punktes auf den physiologischen Pol fällt.

In einem ganz vollkommenen Auge sollte der physiologische Pol auch der Mitte des gelben Fleckes oder des Bezirkes des deutchen Sehens liegen. In Wirklichkeit weicht derselbe häufig von die- Mitte ab, liegt aber doch bei guten Augen nicht ausserhalb jenes eckes.

5. Sehwinkel. Indem wir die Richtungen der von den beiden Punk- n D, E des Objektes ausgehenden Strahlenbündel durch den Lichtein- ıck auf der Netzhaut bei D' und E' in ihren Beziehungen zu der Au-

genaxe FC als die Normalen $D'D$ und $E'E$ auf der Netzhaut empfinden, erhalten wir eine unmittelbare Vorstellung von dem zwischen beiden Richtungen liegenden Winkel $D'CE'$ oder vom Sehwinkel DCE (Fig. 149).

Der Seh- oder Gesichtswinkel eines Objektes ist also eine direkt oder unmittelbar durch die Affektion der Netzhaut an den Eintrittsstellen D', E' der Hauptstrahlen gemessene Eigenschaft des Objektes. Die Grösse oder Ausdehnung des Netzhautbildes $D'E'$ ist jenem Winkel proportional, kann also auch als das Maass dafür angesehen werden: der physiologische Effekt, welcher das Urtheil über den Sehwinkel begründet, liegt aber prinzipiell keineswegs in der Grösse des Netzhautbildes, sondern in der Grundbedingung, dass ein Punkt stets in normaler Richtung auf der Netzhaut von seinem Netzhautbilde aus gesehen wird.

Wir werden sehen, dass es auch Fälle giebt, wo die Grösse des Netzhautbildes $D'E'$ nicht dem Winkel zwischen den Normalen $D'D$ und $E'E$ entspricht und dass uns alsdann der Sehwinkel nicht proportional dem Bilde $D'E'$, sondern proportional dem Winkel $D'CE'$ zwischen den Normalen erscheint.

Überhaupt aber müssen wir, wenn es sich um Strenge der Auffassung handelt, den in §. 8, No. 17 erläuterten Unterschied zwischen dem inneren und äusseren Sehwinkel hervorheben. Das Urtheil beruht auf dem inneren Sehwinkel, d. h. auf dem Winkel, welchen die im Glaskörper liegenden Theile der wirksamsten Strahlen miteinander bilden.

Ich hebe noch hervor, dass wenn nach unserer Meinung die Empfindung der Richtung an die Absonderung der Netzhaut in isolirte Stäbchen geknüpft ist, der kleinste wahrnehmbare Sehwinkel einen gewissen von der Dimension der Stäbchen abhängigen Werth haben muss. Dieser Winkel muss nahezu demjenigen gleich sein, welchen zwei vom hinteren Pole der Linse nach den beiden Endpunkten des Durchmessers eines Stäbchens gezogene Radien bilden. Der Sinus dieses Winkels ist nahezu $= \frac{0{,}002}{15} = 0{,}00013$, der Winkel selbst also nahezu gleich einer halben Minute, was auch mit der Wirklichkeit ganz gut übereinstimmt.

6. **Beinflussung des Urtheils über den Sehwinkel durch die Beschaffenheit der Netzhaut.** Bei der eben bezeichneten Beurtheilung des Sehwinkels und überhaupt der Winkelabweichung einer Linie $D'D$ von der Augenaxe nach der Normalen auf der Netzhaut ist ein vollkommenes Auge und ein normaler Akkommodationszustand vorausgesetzt. In Wirklichkeit, wo der eine Akkommodationsakt induktorisch einen Einfluss auf alle übrigen ausübt, kann unter abnormen Zuständen das Urtheil über den Sehwinkel getrübt werden. Würde also z. B. die Linse aus irgend einem Grunde genöthigt, Krümmungen anzunehmen, welche einem grösseren oder kleineren Sehwinkel entsprächen (§. 8 No. 17 und 18); so

ürden wir einen grösseren oder kleineren Winkel, als der Normalen f der Netzhaut entspricht, zu sehen glauben.

Im Übrigen haben fast alle Veränderungen der Linse oder des Glaskörrs oder eines anderen Organs immer ihre Ursache in einer abnormen fektion der Netzhaut, welche der Sitz der regierenden Nerventhätigkeit . Jene Abnormitäten werden sich also auch stets in gewissen abnormen ränderungen kund geben, welche in der Netzhaut selbst entstehen d die Richtung, in welcher wir die Schenkel des Sehwinls empfinden, abnorm beeinflussen.

Auch wenn die Dichtigkeit der Stäbchen auf demselben Flächenume der Netzhaut variabel ist, wird, indem sich die Netzhaut mehr oder niger kontrahirt, das Urtheil über die Sehwinkel mit der Anzahl der in Netzhautbild fallenden Stäbchen sich ändern.

7. **Grösse.** Die Grösse eines Gegenstandes, welchen wir nicht untelbar durch eine Einheit messen können, bestimmt sich von irgend ein Punkte, also von dem Orte unseres Auges aus mathematisch, h. nach Verstandesgesetzen durch seinen Sehwinkel und seine tfernung, nicht durch den Sehwinkel allein. Der Sehwinkel allein nur dann das Maass für die Grösse, wenn die Entfernung konstant ist. gemein ist die Grösse dem Sehwinkel und der Entfernung ekt proportional: wenn also α den (äusseren) Sehwinkel und a Entfernung darstellt; so ist das Produkt αa das Maass für die Grösse Objektes.

Hieraus folgt, dass unsere sinnliche Erkenntniss der Grösse s Objektes keineswegs allein von dem Sehwinkel (weder von dem seren α, noch von dem ihm proportionalen inneren Sehwin- $\alpha' = k\alpha$) oder von der Grösse des Netzhautbildes, sondern nso wesentlich von dem Urtheile über die Entfernung abhängen ss, wenn sie richtig sein soll.

Bei der Erkenntniss der Sinne kann aber keine Reflexion, kein Vorstehenden ähnlicher mathematischer oder Verstandesluss im Spiele sein. Die Sinneswahrnehmung, welche dem Verstande zu seiner Thätigkeit verschafft, kann in der Herbeischaffung ses Stoffes nicht von der erst nachher erfolgenden Thätigkeit Verstandes abhängig sein; jene Wahrnehmung muss viel- eine ebenso ursprüngliche und selbstständige Thätigkeit Auges sein, wie das Denken eine ursprüngliche Thätigkeit des standesorgans ist.

In der That, wie ich meinen Kopf und meinen Fuss als besondere le meines Körpers empfinde, wenn sensibele Nerven an jenen len in Thätigkeit gesetzt werden, was durch Berührung, durch Wärme, Blutandrang und auf andere Weise geschehen kann, ebenso unterde ich unter denselben Umständen jeden einzelnen Theil ir- eines Organs, die verschiedenen Stellen des Rückens, der Hand w., ebenso unterscheidet aber auch das Auge die einzelnen Theile Netzhaut, wenn dieselben durch Lichterschütterungen in sensuelle gkeit gesetzt werden. Auf dieser Empfindung der Verschiedenheit

der affizirten Netzhautstellen beruht unmittelbar die Vorstellung von der Ortsverschiedenheit der erregenden Objekte. Diese Vorstellung ist aber kein unbestimmter Eindruck von dem Mangel an Gleichheit schlechthin, sondern sie ist zugleich eine bestimmte Erkenntniss des Grades der Verschiedenheit. Der Abstand der beiden affizirten Netzhautstellen voneinder und ihre Lage gegen die Augenaxe ist uns zugleich das Maass der Bogengrösse zwischen den erregenden Objekten und der Lage dieser Bogengrösse gegen die Sehaxe.

Demnach beruht auf der Affektion der Netzhaut im Netzhautbilde unmittelbar die Erkenntniss der Grösse und Lage des zugehörigen Objektes, vorausgesetzt nur, dass die einzelnen Theile der Netzhaut in diesem Bilde in gleicher Weise affizirt werden, dass also das Objekt in einer um das Auge beschriebenen Kugelfläche liege.

Ich füge nun der vorstehenden Annahme noch die Ansicht hinzu, dass uns die Empfindung der Ausdehnung und Lage der affizirten Nervenmasse zwar ein Maass für den gegenseitigen Werth der einzelnen Abstände in der Netzhaut, also ein Maass für die mathematische Bogengrösse (*arcus*) oder Winkelgrösse, nicht aber ein Maass für den vorgestellten gegenseitigen Abstand der Objektpunkte oder für die absolute Grösse der Objekte gewährt. Es muss sich zu jenem relativen Maasse der Winkelausdehnung noch ein absolutes Maass für die Längenausdehnung am Ende des Radius gesellen, mit welchem jener Bogen beschrieben ist. Das leztere absolute Maass liegt meines Erachtens in ebenderselben Affektion, welche nach §. 16 No. die Entfernung vom Auge bestimmt. Vermöge einundderselben Affektion messen wir also die Entfernung und die Bogenausdehnung eines Objektes mit einundderselben Maasseinheit.

In dem Verhältnisse wie die vorgestellte Entfernung wächst oder abnimmt, wächst oder nimmt hiernach auch die vorgestellte Grösse eines Objektes ab, welches denselben Sehwinkel beibehält und in einer um das Auge beschriebenen Kugelfläche liegt.

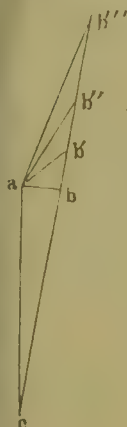
Ein in derselben Entfernung gesehenes Objekt von doppelt so grossem Sehwinkel erkennen wir als doppelt so gross; aber auch bei gleichem Sehwinkel, also bei gleichem Netzhautbilde, erkennen wir ein in doppelt so grosser Entfernung gesehenes Objekt als doppelt so gross.

Hierbei wird nur vorausgesetzt, dass das Auge normal funktionire. Die aus der Unvollkommenheit der Organisation entspringenden Abweichungen von diesem Gesetze werden wir später, besonders in §. [illegible] untersuchen.

Wenn alle Punkte des Objektes nicht gleiche Entfernung vom Auge haben, wenn es sich also etwa um eine gegen die Augenaxe geneigte Linie handelt; so sind die Affektionen in jedem Punkte des Netzhautbildes verschieden. Wir erhalten hierdurch die Vorstellung der gegen die Augenaxe geneigten Linien.

Bei der Erkenntniss der Grösse der Linie ab, welche auf der Augenaxe ca (Fig. 152) normal steht oder vielmehr in der um c beschriebenen Kugelfläche liegt, ist die Maasseinheit für jedes Element dieser Linie dieselbe. Die schrägen Linien ab', ab'' u. s. w., welche denselben Sehwinkel acb haben, erscheinen umso grösser, je stärker sie sich gegen die Kugelfläche ab neigen, indem der zweite Endpunkt b', b'' u. s. w. in immer grössere Entfernung rückt, also durch seine Affektion der Netzhaut das Gefühl einer wachsenden Vergrösserung erweckt.

Fig. 152.



Ich muss noch bemerken, dass hier, wo es sich um subjektive Erscheinung handelt, unter dem Sehwinkel immer der innere Sehwinkel (der wirksamsten Strahlen) zu verstehen ist, welcher dem äusseren in einem normalen Auge nahezu gleich, überhaupt aber doch proportional ist. Wegen dieser Proportionalität führt auch der innere Sehwinkel zur richtigen Erkenntniss der relativen Grösse der Objekte, selbst wenn er vom äusseren abweicht.

Nach Vorstehendem hält die Thätigkeit eines vollkommenen Auges bei der Beurtheilung der absoluten Grösse des Objektes genau Schritt mit den Akten der mathematischen Messung vermittelst des Sehwinkels α und der Entfernung a. Für das Auge ist also ebenfalls das Produkt αa das Maass für die Grösse des Objektes, indem der Faktor α durch die Ausdehnung des Netzhautbildes oder durch die Menge der in Anspruch genommenen Nervenfasern und der Faktor a durch die Art und Weise der Erschütterung dieser Nervenmasse durch die konvergirenden Strahlenbündel ersetzt wird.

8. Unabhängigkeit des Urtheils über die absolute Grösse des Objekts von der Entfernung. Wenn ein Objekt seine Entfernung ändert, verändert dasselbe auch seinen Sehwinkel und zwar im umgekehrten geometrischen Verhältnisse, sodass mit der Verdopplung der Entfernung eine Halbirung des Sehwinkels verbunden ist. Das Produkt αa behält also für dasselbe Objekt stets denselben Werth, wie nahe oder wie fern auch das Objekt sei. Dieses Resultat ist selbstverständlich, da ja die Grösse eines Dinges etwas Absolutes, von seiner Lage Unabhängiges ist. Aus vorstehender Nummer folgt nun aber auch der wichtige Satz, dass uns ein Objekt aus jeder beliebigen Entfernung gleich gross erscheint. Denn indem das Objekt sich auf die doppelte Sehweite entfernt, also sein Sehwinkel oder Netzhautbild halb so gross wird, wächst der subjektive Werth der Bogengrösse oder des Netzhautbildes auf den doppelten Werth. Dieser Satz erleidet nur die durch Unvollkommenheit des Organismus bedingte Abweichung, welche wir im §. 24 betrachten werden.

Allgemein kann man sagen, dass wenn α' der Winkel ist, unter welchem ein Objekt uns erscheint, also der Winkel zwischen den Normalen der Netzhaut auf der Grenze des Lichtbildes und wenn a' die Sehweite ist, unter welcher uns das Objekt gemäss der von seinen Strahlen erweckten Empfindung erscheint; so ist das Produkt $\alpha' a'$ die Grösse, in welcher wir das Objekt erblicken.

Dieser für die Theorie des Sehens gewiss höchst bedeutungsvolle Satz, welcher sagt, dass ein normal gebautes Auge ein bestimmtes Objekt in jeder Entfernung gleich gross erblickt (nicht etwa vermöge Verstandesoperationen für gleich gross hält), werden wir mit seinen aus der Unvollkommenheit der Organisation entspringenden Abweichungen weiter unten in §. 24 näher diskutiren.

9. Der individuelle Maassstab für Grösse und Entfernung. Da nach §. 17 No. 5 die mittlere Sehweite von etwa 250 Millimeter die subjektive Maasseinheit für die Entfernung ist; so ist sie es nach Vorstehendem auch für die Grösse, überhaupt für alle Dimensionen des sichtbaren Raumes.

Dem mit einem gleich konstruirten, aber kleineren Auge versehenen Individuum, also dem kleineren Nebenmenschen und dem Kinde müssen daher die Objekte und Entfernungen bedeutender vorkommen. In Beziehung auf das Kind wird ein Jeder diese Thatsache durch seine eigenen Erfahrungen bestätigt finden. Ich habe mich bei späterem Wiedersehen häufig schmerzlich überrascht gefühlt über die Kleinheit und Enge der Häuser, Strassen, Plätze und Landschaften, welche mir aus den Erinnerungen der Jugendzeit als grosse und geräumige Gestaltungen vorschwebten.

10. Fixirung eines ausgedehnten Objektes. Bei der Vergrösserung des Objektes, welches wir fixiren, d. h. welchem wir die Aufmerksamkeit unseres Sehorgans in der Absicht zuwenden, davon eine geistige Vorstellung zu erlangen, ändert sich unser Auge wegen der Unvollkommenheit des Sehorgans ein wenig: die Gestalt der Linse und des Augapfels wird mehr elliptisch, indem die Krümmungen nach den Rändern hin sich verstärken, die Augenlider ziehen sich in die Höhe, die Pupille erweitert sich ein wenig.

Wir empfinden diese Veränderung deutlich, wenn wir z. B. an einem vor uns stehendem Baume einmal ein Blatt, dann einen gruppirten Zweig und dann den ganzen Baum anzusehen trachten.

Hierbei nehmen wir zugleich wahr, dass, sowie die Grösse des Objektes oder überhaupt das Objekt wechselt, die Richtung der Augenaxe unwillkürlich eine Änderung erleidet, indem sie sich gewissermaassen auf den optischen Schwerpunkt des neuen Objektes einstellt (falls der Schwerpunkt des vorher fixirten Objektes nicht zufällig mit dem des neuen zusammenfällt).

Aus Vorstehendem geht hervor, dass das Auge nicht bloss die Fähigkeit hat, einen einzelnen Punkt, sondern ein Objekt von beliebiger Ausdehnung zu fixiren und auf diese Ausdehnung organisch zu reagiren.

Indem wir gleichzeitig das Bild vieler Objekte von verschiedener Grösse und Entfernung im Auge empfangen, fesseln wir durch die Aufmerksamkeit unseres Auges zwar nur eines von bestimmter Grösse und Entfernung: allein Diess hindert nicht, dass wir auch den Eindruck aller übrigen Objekte mit angenäherter Genauigkeit empfinden und dass sich

die einzelnen Theile des Auges durch die Einwirkung der Lichtstrahlen auf die betreffenden Netzhautstellen für sich akkommodiren. Vollkommener, genauer, sicherer und bewusster ist der Eindruck allerdings für das eine fixirte Objekt, und zwar umso vollkommener, je kleiner das Objekt bei mässiger Entfernung und Beleuchtung ist, am vollkommensten für einen Punkt oder vielmehr für ein Objekt von einer gewissen Minimalgrösse, welche im gewöhnlichen Leben wohl ein Punkt genannt werden kann und muthmaasslich der Sphäre eines einfachen Nervenfadens oder eines Stäbchens der Bazillarschicht entspricht.

Wenn wir die Absicht haben, ein ausgedehntes Objekt, also mehere Punkte auf einmal zu fixiren, erhöhen wir die in No. 3 erwähnte Spannung in mehreren Nervenfasern zu gleicher Zeit, bringen also das Auge gleichzeitig unter die Herrschaft mehrerer Kräfte, von welchen ede die Tendenz hat, den Augenpol in den betreffenden Punkt zu führen. Das Auge wird mithin von mehreren Kräften angegriffen, welche daselbe nach verschiedenen Seiten zu drehen streben. Es ist klar, dass das Auge unter diesen Umständen eine bestimmte Stellung egen die Figur der fixirten Punkte einnehmen muss, welche heils von den geometrischen Verhältnissen dieser Figur, theils von der euchtkraft der einzelnen Theile derselben, theils von dem verschiedenen rade der Aufmerksamkeit, welche wir den einzelnen Theilen widmen, bhängt, weil eben durch diese Elemente die Grösse und Richtung er drehenden Kräfte bedingt ist. Das Auge wird sich also ei gleicher Vertheilung der Aufmerksamkeit auf den optischen chwerpunkt des fixirten Objektes einstellen.

§. 19.

Beurtheilung der Lichtstärke.

1. Physiologisches Maass der Lichtstärke. Für die Intensität ler Stärke des Lichtes ist die Netzhaut oder der Sehnerv selbst direkt mpfindlich, indem die intensiveren Lichtschwingungen eine Erhöhung derjenigen Nerventhätigkeit hervorrufen, in welcher die eigenthe Sehthätigkeit des Sehnerven besteht.

Die Quantität dieser Nerventhätigkeit oder Nervenarbeit, elche sich in einem Bündel von Nervenfasern entwickelt, deren Querhnitt als Flächeneinheit für die Messung des Lichtbildes gilt, oder die ntensität der Nerventhätigkeit ist das direkte physiologische Maass r die Intensität des äusseren Lichtreizes oder vielmehr für den Einruck, welchen dieser Reiz auf uns macht. Diese Arbeitsgrösse entricht auch immer einer gewissen Menge von Stoff, welche bei dem urch die Nerventhätigkeit bedingten Stoffwechsel umgebildet, resp. sgeschieden wird. Die Menge dieses Stoffwechsels ist bei gleichen chtarten (Farben) der Intensität des Lichtes nahezu proportional.

In der Physik unterscheidet man mit Recht zwischen Lichtintentät, welche durch die Grösse der Amplitude eines schwingenden Äthereilchens gemessen wird, und zwischen Lichtmenge, welche durch die

Anzahl gleich stark schwingender Äthertheilchen gemessen wird. Wenn jedoch die Lichtthätigkeit auf einunddieselbe Masse, z. B. auf ein Stäbchen der Netzhaut entwickelt wird, ist es gleichgültig, ob die Amplitude oder ob die Menge der einwirkenden Theilchen oder Elementralstrahlen vergrössert wird: zwei Elementarstrahlen von gleicher Amplitude bringen denselben Effekt hervor, wie ein Strahl von angemessen vergrösserter Amplitude: denn das Hinzutreten eines zweiten Strahles zu einem schon vorhandenen kann auf das vibrirende Stäbchen keine andere Wirkung thun, als Vergrösserung seiner Schwingungsintensität. Für die physiologische Wirkung des Lichtes ist also eine Unterscheidung zwischen Stärke und Menge von Licht pro Flächeneinheit der Netzhaut in den meisten Fällen von keiner wesentlichen Bedeutung: indessen werden wir in §. 20 No. 5 sehen, dass für besondere Fälle dieser Unterschied beachtet werden muss.

2. Veränderungen des Auges bei der Änderung der Lichtstärke. Mit dieser quantitativen Veränderung der Nerventhätigkeit ist als planmässige Veränderung des Auges nur die Bewegung der Regenbogenhaut verbunden. Wenn sich nämlich die Menge des in das Auge gestrahlten Lichtes vermehrt (gleichviel ob das fixirte Objekt oder ob Nebenobjekte diese Vermehrung hervorbringen), verengt sich die Pupille, verhindert also, dass der Lichtreiz auf das Auge ein gewisses Maass überschreitet, welches mit materiellen Beschädigungen und mit einer Unsicherheit des Urtheils verbunden sein würde. Im entgegengesetzten Falle, bei abnehmender Helligkeit des Gesichtsfeldes, erweitert sich die Pupille. Das Auge sucht also den Lichtreiz innerhalb gewisser, dem deutlichen Sehen und seiner Reizbarkeit entsprechenden Grenzen zu erhalten.

Mit der Verengung der Pupille ist auch ein Zusammendrücken der Augenlider verbunden.

Was die eigentliche Akkommodation des Auges oder der brechenden Medien betrifft; so ist dieselbe nach §. 8 No. 21 von der Lichtstärke unabhängig, falls das Auge vollkommen organisirt ist. Nur die Unvollkommenheit der Organisation, welche verhindert, dass das Auge unter allen Umständen normal funktionirt und welche zu einer nahezu normalen Funktionirung eine gewisse Angemessenheit zwischen dem äusseren Impulse und seiner Reizbarkeit verlangt, bedingt gewisse äussere Akkommodationsveränderungen bei wechselnder Lichtintensität, welche wir weiter unten in §. 26 näher betrachten werden.

Für jetzt bemerken wir nur, dass wegen der Unvollkommenheit der Akkommodation stets eine gewisse Aberration stattfindet und dass daher bei wechselnder Lichtstärke, wo die mangelhafte Konzentrirung der Strahlen empfindlicher hervortritt, die Kontraktion der Pupille zugleich ein Hülfsmittel zur Verbesserung der Akkommodation ist, indem dadurch mehr Randstrahlen ausgeschlossen werden.

Wegen dieser Beziehungen ist nach dem Organisationsplane des Auges die Verengung der Pupille ein Nebenakt der Akkommodation, welcher mit den übrigen so verbunden ist, dass er sie induktorisch hervorruft und auch von ihnen hervorgerufen wird. Mit der Kontraktion

er Pupille entsteht daher auch immer eine gewisse Verlängerung der ugenaxe und eine stärkere Wölbung und Verdichtung der Linse, lso eine Akkommodation auf kürzere Entfernung, wie umgekehrt bei er Akkommodation auf kürzere Entfernung stets eine Kontraktion der upille eintritt.

§. 20.

Beurtheilung der Farbe.

1. Prozess, auf welchem die Empfindung der Farbe beruht. ür die Farbe des einfallenden Lichtes ist die davon getroffene Nervenser in der Weise unmittelbar empfindlich, dass die besondere Vibraonsgeschwindigkeit, welche jedem Farbentone eigen ist, in der ervensubstanz eine besondere stoffliche oder chemische Thätigkeit rregt, deren Beschaffenheit ich in §. 65 näher erläutern werde. Auf ieser chemischen Thätigkeit des Sehnerven beruht meines Erachtens as Urtheil oder vielmehr die Empfindung der Farbe.

Dass die Lichtschwingungen nicht als solche in dem Nervenden nach dem Gehirne fortgepflanzt werden, muss als ganz unzweifelhaft scheinen: denn wenn auch die Substanz einer lebenden Nervenfaser urchsichtig, also zur direkten Fortpflanzung von Lichtschwingungen eeignet ist; so macht doch der sehr krummlinige Weg eines Nervendens die Fortleitung der geradlinig vorschreitenden Lichtwellen unmögh. Jene Lichtschwingungen müssen also vom Eintrittspunkte auf der derhaut bis zum Eintrittspunkte in den eigentlichen Sehnerven eine den ganischen Gesetzen entsprechende Umwandlung erfahren, welche hliesslich einen Nervenstrom daraus hervorgehen lässt. Diess scheint ir auch sehr bestimmt durch die besondere Konstitution der Netzhaut, sbesondere der Zellenhaut angedeutet zu sein. Wir kommen auf esen Gegenstand später zurück.

Vorläufig bemerken wir über die Natur der Wirkung der Farbe auf n Sehnerven nur so viel, als zur Vervollständigung und Verallgemeineng der Beziehungen, welche zwischen den geometrischen Eigenschaften, r Lichtstärke und der Farbe der Objekte bestehen, durchaus nöthig ist.

Wir nehmen an, dass der allgemeine Prozess der Nerventhätigkeit, elcher beim Sehen stattfindet, nicht bloss variabel ist nach Intensität, ndern auch in Beziehung auf den darin herrschenden Chemismus, und ss die letztere Eigenschaft die Qualität des Prozesses und den physiogischen Eindruck der Farbe hervorbringt (§. 65). Mit der Veränderng der Farbe ändert sich also der Stoffwechsel des Nervenprozesses er die Gruppirung der Stoffe.

Unter solchen Umständen kann bei der Farbe, da ihr Hauptmerkmal s der Qualität und nicht das der Quantität ist, von einem Gegentze, wie bei Grössen oder reinen Quantitäten, welcher durch das Mehr d Weniger, durch das Positive und Negative, durch die direkte und die tgegengesetzte Richtung ausgedrückt ist, überall keine Rede sein. Das

was bei Farben ein Gegensatz zu nennen ist, muss einen ganz anderen Charakter, den der Qualität oder Art annehmen.

Allerdings wird ja die Bildung der einen Gruppirung die der anderen ausschliessen. Insofern stehen also gewisse Gruppirungen des Stoffes sich als qualitative Gegensätze gegenüber. Rein wird der Gegensatz zweier Prozesse sein, wenn die beiden darin erzeugten stofflichen Gruppirungen sich zu einem solchen Prozesse vereinigen, welcher in Beziehung auf Farbe als ein neutraler erscheint, welcher also das spezifische Merkmal der Farbe gar nicht an sich trägt.

Dieser neutrale Prozess ist der durch das weisse Licht hervorgerufene. Gegensätze oder Kontraste in Beziehung auf Farbe sind daher die komplementären Farben, wie z. B. Roth und Grün, welche sich zu Weiss ergänzen.

Wenngleich der spezifische Unterschied der Farben nur ein qualitativer ist; so wirkt der Farbenstrahl, welcher den physiologischen Farbenprozess erzeugt, doch auch durch diejenigen Nebeneigenschaften, welche quantitativer Natur sind, in besonderer Weise auf das Auge. Diese Nebeneigenschaft besteht vornehmlich in seiner Brechbarkeit. In Beziehung auf Brechbarkeit nennen wir die weniger brechbaren, dem rothen Ende des Spektrums näher liegenden die höheren und die brechbareren, dem violetten Ende näher liegenden die niedrigeren Farben. Bei einer Mischfarbe entscheidet die mittlere Brechbarkeit, wobei die einzelnen Elementarfarben mit ihrer Intensität in Rechnung gestellt gedacht werden.

Prinzipiell ist mit der Änderung der Farbe keine Änderung des Akkommodationszustandes verbunden (§. 8 No. 21). Alle hierbei sich einstellenden Änderungen entspringen lediglich aus der allgemeinen Unvollkommenheit der Organisation. Wir werden dieselben weiter unten in §. 27 nachweisen.

2. Allgemeine Abstufungen und Veränderungen der Farbe. Es ist wünschenswerth, die hauptsächlichen Veränderungen der Farben auf wissenschaftliche Begriffe zu bringen, weil die Ausdrucksweise des gewöhnlichen Lebens in dieser Hinsicht sehr unsicher ist.

Hoch und tief wollen wir eine einfache Farbe nach ihrer Lage im Sonnenspektrum nennen, sodass die am wenigsten brechbare rothe die höchste und die brechbarste violette die tiefste ist. Die Höhe und Tiefe der Farben entspricht also der Vibrationsgeschwindigkeit, wie bei den akustischen Tönen, jedoch mit dem Unterschiede, dass die am langsamsten schwingenden Farben, welche die grösste Wellenlänge haben, die höchsten genannt werden.

Da die Übergänge der Hauptfarben allmählich erfolgen oder da der Grundcharakter der Farbenempfindung innerhalb gewisser Grenzen der Vibrationsgeschwindigkeit derselbe bleibt; so hat jede einfache Hauptfarbe, z. B. das Roth, verschiedene Töne von verschiedener Höhe.

Bei einer Mischfarbe bestimmen wir die Höhe nach der Brechbarkeit der mittleren Resultante der Bestandtheile, wobei jeder Bestandtheil mit seiner Intensität gehörig berücksichtigt sein muss.

Intensität oder Stärke der Farbe entspricht der Intensität de

ichtprozesses, also der Amplitude der Schwingungen. Intensität hat ıher Nichts mit Höhe der Farbe gemein. Die intensiveren Farben sind ie stärkeren oder kräftigeren oder lebhafteren, deren höchste rade man auch wohl feurig nennt: die weniger intensiven sind die :hwächeren oder matteren. Die verschiedenen Intensitäten unterheiden sich durch den Grad.

Wenn es sich um die weisse Farbe handelt, ist Helligkeit mit tensität oder Stärke gleichbedeutend, ebenso Dunkelheit mit Schwäche. enn es sich jedoch um andere Farben handelt; so schwankt der Sprachbrauch, indem er bald die mit weiss gemischten, blasseren, bald e intensiveren, bald die höheren Töne einer Farbe die helleren nnt.

Bei gehöriger Unterscheidung muss man hell und dunkel auf die eleuchtung durch Sonnenlicht, also auf die Mischung einer ırbe mit Sonnenlicht beziehen. Das Sonnenlicht ist nicht rein weiss, ndern gelblich: ein absoluter Standpunkt erfordert daher die Beehung Helligkeit und Dunkelheit auf die Mischung mit weissem chte. Streng genommen muss der Effekt der Beleuchtung durch elbliches Sonnenlicht hiervon noch besonders getrennt werden.

Wenn man den Ausdruck Ton für die Höhe (Vibrationsgeschwindigit) der Farbe anwendet, muss für die Mischungsverhältnisse mit eiss ein anderer Ausdruck gebraucht werden. Wir wollen dafür den usdruck Schattirung nehmen. Allgemein aber erfordern die Mischunn einer Farbe mit beliebigen anderen Farben eine besondere Beichnung, wofür wir das Wort Nuance gebrauchen wollen.

Die Schattirungen von Weiss heissen Grau, d. h. eine dunklere hattirung von Weiss ist grauer, als eine hellere. Beim Weiss fällt der egriff der Helligkeit mit dem der Intensität zusammen. Grau ist cht bloss eine dunklere Schattirung, sondern auch ein schwächerer rad von Weiss.

Schwarz ist vollständiger Mangel an Licht, also auch Mangel an ler Farbe oder niedrigster Grad jeder Farbe oder dunkelste hattirung jeder Farbe.

Durch Mischung mit Weiss, resp. Grau entstehen also die helleren d dunkleren Schattirungen einer Farbe. Mit der Helligkeit und Dunkelit der Schattirung steht aber die Intensität keineswegs in direkter ziehung: eine Farbe kann heller und doch an Intensität schwächer, kann dunkler und doch intensiver werden.

Zu manchen Zwecken erfordert die Definition von Lichtstärke, Helkeit und Farbenreinheit eine noch grössere Schärfe. Wir sagen daher, ıe Farbe wird stärker (lichtstärker) oder kräftiger, wenn die Innsität aller ihrer elementaren Bestandtheile gleichmässig wächst, so der Ton sich nicht ändert; im entgegengesetzten Falle wird sie hwächer oder matter. Heller wird eine Farbe dadurch, dass der ıchtende Körper durch verstärktes Sonnenlicht oder vielmehr durch rstärktes weisses Licht zu stärkerem Leuchten gebracht wird: in esem Falle wächst nicht allein die Intensität des farbigen, sondern ch die Intensität des weissen Bestandtheiles der Farbe, also die Gemmtintensität; gleichzeitig erhöht sich aber auch das Verhältniss

des weissen zum farbigen Bestandtheile. Dunkler wird eine Farbe durch den umgekehrten Vorgang der Schwächung des erregenden weissen Lichtes, woraus Verminderung der gesammten Intensität und zugleich Verminderung des Verhältnisses des weissen zum farbigen Bestandtheile entspringt. Endlich sagen wir, eine Farbe werde reiner, wenn andersfarbige Bestandtheile, welche mit der Hauptfarbe vermischt sind, namentlich weisse, nicht bloss verschwinden, sondern sich in die Hauptfarbe verwandeln, sodass also die Gesammtintensität nicht vermindert, sondern eher vermehrt, im Ganzen aber das Verhältniss des farbigen Bestandtheiles zu dem weissen vergrössert wird. Im entgegengesetzten Falle, wo sich ein Theil der Hauptfarbe in die Komplementärfarbe verwandelt und sich sodann mit einem entsprechenden Antheile der Hauptfarbe zu weissem, resp. grauem Lichte verbindet, wo sich also weisses Licht mit der gegebenen Farbe mischt und die Gesammtintensität nicht grösser, vielmehr eher kleiner wird, wo also unbeschadet der Intensität das Verhältniss des weissen zum farbigen Bestandtheile vergrössert wird, sagen wir, die Farbe werde blasser.

Reine Farben kommen in den Farbstoffen (Pigmenten) fast niemals vor: die Farben der Körper stellen fast immer eine Mischung von einer der sechs Hauptfarben Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violet mit Grau d. h. mit einem stärkeren oder schwächeren Weiss dar. Bei den gelben Farbstoffen tritt die Unreinheit am meisten hervor: die stärkeren Grade von Gelb, welche man durch Anhäufung des gelben Farbstoffes erhält, sind daher meistens braungelb.

Ich bemerke noch, dass man hinsichtlich der Intensität bei einer Mischfarbe die Intensität des einen oder anderen Bestandtheiles von der mittleren Intensität aller dieser Bestandtheile oder der Gesammtfarbe unterscheiden muss. Namentlich kann Diess bei den Schattirungen einer Farbe wichtig werden, wo die Intensität der Grundfarbe, die Intensität des beigemischten Weiss (Grau) und die mittlere Intensität der ganzen Schattirung drei verschiedene Dinge sind.

3. Physiologischer Normalpunkt der Farbenstufen. Die Ausdrücke hoch und tief, stark und schwach, hell und dunkel bezeichnen nach der gewöhnlichen Auffassung nur relative Begriffe, indem in einer unbegrenzten Reihe von Abstufungen irgend einer Stufe höher, stärker, heller genannt wird, als irgend eine vorhergehende. Allein für die physiologischen Wirkungen giebt es in jeder dieser Stufenleitern einen Nullpunkt, von welchem aus alle aufwärts liegenden Farben auch in absoluter Beziehung resp. hoch, stark, hell genannt werden müssen, während die abwärts liegenden Farben resp. tief, schwach, dunkel heissen müssen.

Diesen Punkt, welchen wir den Normalpunkt der betreffenden Stufenleiter nennen wollen und welcher wie der Nullpunkt des Thermometers die Wärme- von den Kältegraden scheidet, entspricht derjenigen Stufe, welche einen mittleren oder normalen Reiz auf das Auge ausübt, welche also weder eine zu starke, noch zu schwache Anstrengung erfordert, welche demnach auch am deutlichsten wahrgenommen wird. Dieser Normalpunkt schwankt für jede der drei Stufenleitern nach den be-

sonderen Umständen, in welchen sich das Auge befindet, nach der momentanen Reizbarkeit, nach der Grösse und Entfernung des Objektes, nach der Helligkeit und Farbe des umgebenden Gesichtsraumes u. s. w.; allein diese Schwankungen liegen doch innerhalb gewisser Grenzen. Niemals, d. h. solange das Auge ordnungsmässig funktionirt, wird man den Schnee dunkel und die schwarze Kohle hell nennen, wiewohl beide Stoffe nur verschieden starke Grade von Weiss oder Grau vertreten: ebensowenig wird man jemals das direkte Sonnenlicht schwach und das Licht, welches sich in einem dunklen Zimmer befindet, stark nennen.

Nach Vorstehendem haben wir es mit einem Normalpunkte für die Intensität oder Lichtstärke, mit einem Normalpunkte für die Helligkeit und mit einem Normalpunkte für die Farbenhöhe zu thun. Die ersten beiden entsprechen den mittleren Intensitäten und Helligkeiten, in welchen wir die im indirekten Tageslichte erscheinenden, nicht selbstleuchtenden Körper zu erblicken pflegen. Der letzte Normalpunkt der Farbenhöhe nach dem Spektrum entspricht dem Gelb, welches den Schwerpunkt des Weiss enthält.

4. Komplementärfarben. Die Wichtigkeit, ja Nothwendigkeit der Berücksichtigung des vorstehenden Normalpunktes zur Erklärung der verschiedenen Farbenerscheinungen werden wir weiter unten mehrfach kennen lernen; zunächst dient diese Auffassung dazu, den Begriff des Komplementären schärfer zu bestimmen.

Die gewöhnliche Definition, dass zu einer Farbe A diejenige Farbe B komplementär sei, welche mit A gemischt weisses Licht erzeugt, genügt nicht, um die Komplementärfarbe nach Art und Intensität zu bestimmen. Da nämlich in Beziehung auf Intensität der Ausdruck Weiss ganz unbestimmt ist und alle Stufen von Grau umfasst; so muss doch sofort die Frage aufgeworfen werden, welchen Intensitätsgrad denn das aus jener Mischung entstehende Weiss haben oder welche Stufe von Grau dasselbe einnehmen soll. Solange Diess ungewiss bleibt, ist auch die Komplementärfarbe in Beziehung auf ihre Schattirung unbestimmt, d. h. man könnte ihr jede beliebige Menge von Weiss oder Grau beimischen, ohne dass sie aufhörte die Komplementärfarbe von A zu sein.

Mit Beziehung auf den Normalpunkt der Farbenstärke und Helligkeit behaupte ich nun, dass die Komplementärfarbe von A diejenige ist, deren Vermischung mit A weisses (resp. graues) Licht von normaler Stärke giebt. Wo eine genauere Unterscheidung nöthig ist, wollen wir diese Farbe die normale Komplementärfarbe nennen, indem wir alsdann die allgemeinere Bezeichnung von Komplementärfarben auf alle diejenigen Farben anwenden, deren Vermischung mit der gegebenen Farbe Weiss von irgend einer Stärke m ergeben. Irgend eine der letzteren nennen wir dann die Komplementärfarbe vom Grade m.

Hieraus folgt zunächst, dass zu irgend einem Grau ein anderes Grau komplementär ist, welches so weit auf der entgegengesetzten Seite des Normalpunktes liegt, dass aus der Mischung beider normal weisses Licht entsteht. Dem hellen Grau ist daher ein dunkeles

Grau komplementär. Nach der gewöhnlichen Ausdrucksweise, welche eine graue Farbe gegenüber einem dunkleren Grau weiss nennt, würde man sagen, dass Grau das Komplement von Weiss sei: diese Ausdrucksweise ist jedoch nicht ganz angemessen, da sie einem relativen, veränderlichen Werthe einen absoluten Ausdruck giebt. Eher kann man sagen, das Komplement von Weiss sei Schwarz.

5. Mathematische Formulirung der Farbenwirkung. Die weiteren Untersuchungen über die Wirkung der Farben, insbesondere die nähere Bestimmung der Komplementärfarbe erfordert eine präzisere Feststellung des Werthes der Farbenwirkung, eine mathematische Messung der Farben.

Zu manchen Zwecken ist es gleichgültig, ob man sich die Wirkung des von der Flächeneinheit ausgestrahlten Lichtes als die Thätigkeit einfacher Strahlen denkt, deren Intensität stets dieselbe, deren Anzahl aber veränderlich ist, oder als die Thätigkeit einer stetig zusammenhängenden Strahlenmenge, also einer Strahlenmenge, deren Anzahl stets dieselbe, deren Intensität aber veränderlich ist. Wenngleich zu gewissen Zwecken die eine oder die andere Auffassung genügt; so entspricht doch keine von beiden der Wirklichkeit für alle Fälle. Allgemein muss sowohl Intensität, d. h. die Lichtstärke, welche sich durch die Amplitude der Schwingungen bestimmt, als auch die Anzahl der in der Flächeneinheit liegenden leuchtenden Punkte oder vielmehr die Grösse der in der Flächeneinheit liegenden, wirklich leuchtenden Fläche berücksichtigt, und der Werth der Farbe, d. h. die Wirkung des von der Flächeneinheit des leuchtenden Körpers ausgehenden Lichtes als das Produkt aus der Intensität a und der Anzahl A der leuchtenden einfachen Strahlen, welche in der Flächeneinheit liegen, dargestellt werden.

Um die Art der Farbe zu bezeichnen, hängen wir einen Buchstaben als Vertreter des Namens der Farbe an dieses Produkt. So bezeichnet also $a A_\varphi$ eine Wirkung von A in der Flächeneinheit liegenden einfachen Strahlen der Farbe φ von der Intensität a. Wir heben hervor, dass a die Intensität der einfachen oder elementaren Strahlen oder der Schwingungen, $a A$ dagegen die Lichtwirkung pro Flächeneinheit, also diejenige Grösse ist, welche man gewöhnlich die Intensität einer leuchtenden Fläche nennt.

Unter gewöhnlichen Umständen sehen wir eine leuchtende oder gefärbte Fläche als stetig leuchtend oder gefärbt an. Alsdann hat A für alle Farben einunddenselben, der Flächeneinheit entsprechenden Werth. Nimmt man diesen Werth zur Maasseinheit der wirklich leuchtenden Fläche an; so ist die Lichtwirkung pro Flächeneinheit $= a \,.\, 1 = a$, also lediglich durch die Intensität der einfachen Strahlen ausgedrückt.

Wenn mehrere Intensitätsgrade derselben Farbe vereinigt oder vermischt werden, addiren sie sich; man hat also

$$a \,.\, 1_\varphi + b \,.\, 1_\varphi = (a + b) \,.\, 1_\varphi$$

und ebenso hat man bei Hinwegnahme eines Intensitätsgrades

$$a \,.\, 1_\varphi - b \,.\, 1_\varphi = (a - b) \,.\, 1_\varphi$$

Wie die Flächeneinheit das Maass der Anzahl A der leuchtenden unkte ist; so ist die normale Intensität das Maass für die Intensität a. immt man Diess an; so ist 1 die normale Intensität, folglich $1 . 1_\varphi$ der Ferth der normalen Farbe φ.

Zwei verschiedene Farben sind wegen der Verschiedenheit ihrer Vi-ationsgeschwindigkeiten ganz heterogene Grössen, welche weder ad-rt, noch subtrahirt werden können und welche in ihrer Vereinigung eine eue Grössenart erzeugen. Demnach hat es kein Bedenken, die In-nsität a jeder besonderen Farbe nach einem besonderen willkürlichen aassstabe zu messen, solange eine Vergleichung dieser Maassstäbe unter-nander kein Interesse hat. Hiernach nennen wir diejenige Intensität der einfachen Farbe Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violet die nor-ale und setzen sie gleich 1, welche diese Farbe in der Zusammensetzung . weissem Lichte von normaler Stärke hat. Die sechs Farben oth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violet bezeichnen wir resp. mit α, β, γ, ε, ζ, die weisse mit w.

Hiernach ist die Formel für normales weisses Licht

$$1 . 1_\alpha + 1 . 1_\beta + 1 . 1_\gamma + 1 . 1_\delta + 1 . 1_\varepsilon + 1 . 1_\zeta = 1 . 1_w$$

Wäre nun eine Mischfarbe von folgender Zusammensetzung gegeben

$$a . 1_\alpha + b . 1_\beta + c . 1_\gamma + d . 1_\delta + e . 1_\varepsilon + f . 1_\zeta$$

lässt sich dieselbe sofort in zwei Theile, einen farbigen und einen eissen zerlegen. Von den Intensitätsgraden a, b, c ... ist nämlich ir-nd einer der kleinste. Angenommen Diess sei c; so zerlegt sich die rstehende Mischfarbe, indem man davon das weisse Licht

$$c . 1_\alpha + c . 1_\beta + c . 1_\gamma + c . 1_\delta + c . 1_\varepsilon + c . 1_\zeta = c . 1_w$$

ennt, in die beiden Theile

$$(a - c)\, 1_\alpha + (b - c)\, 1_\beta + 0 . 1_\gamma + (d - c)\, 1_\delta + (e - c)\, 1_\varepsilon + (f - c)\, 1_\zeta + c . 1_w$$

In dem farbigen Theile ist die Farbe γ, welche den kleinsten effizienten hatte, gar nicht mehr enthalten. Der weisse Bestandtheil rschwindet nur dann, wenn einer der Koeffizienten a, b, c . . . gleich ll, also irgend eine der prismatischen Farben nicht vorhanden ist.

Umgekehrt ist leicht diejenige Mischfarbe zu bestimmen, welche mit eben zerlegten Mischfarbe weisses Licht erzeugt. Denn ist z. B. ler grösste der Koeffizienten a, b, c . . .; so braucht man nur die rbe

$$(c - a)\, 1_\alpha + (c - b)\, 1_\beta + 0 . 1_\gamma + (c - d)\, 1_\delta + (c - e)\, 1_\varepsilon + (c - f)\, 1_\zeta$$

lche die Farbe γ nicht enthält, mit der gegebenen zu mischen, um

$$c . 1_\alpha + c . 1_\beta + c . 1_\gamma + c . 1_\delta + c . 1_\varepsilon + c . 1_\zeta = c . 1_w$$

i. weisse Farbe von der Stärke c zu erhalten.

Die eben bestimmte Farbe enthält die kleinstmögliche Menge n Elementen, welche erforderlich sind, um die gegebene Farbe in isses Licht zu verwandeln; nennen wir diese Farbe die komplemen-

täre Färbung und bezeichnen wir dieselbe mit k. Hiernach ist di Farbe k der Farbe φ zwar hinsichtlich der *Färbung* komplementär aber noch nicht hinsichtlich der *Intensität*: denn die Mischung giebt kein weisses Licht von *normaler* Stärke 1, sondern von der Stärke der in den Bestandtheilen von φ enthaltenen *intensivsten* Farbe γ

Zur näheren Bestimmung der Komplementärfarbe müssen wir di vorstehende Theorie der Farbenwirkung noch in einem Stücke ergänzen

Mehrere zusammengemischten oder von derselben Fläche ausstrahlende Farben *mischen* sich, wirken zusammen, ohne einander zu beeinträchtigen. Demnach kann die *Verstärkung* einer Farbe durch *Hinzufügung* einer gleichartigen Farbe erzeugt werden. *Schwächung* eine Farbe kann jedoch, solange man nur über *eigentliche Farben*, d. h über positiv wirkende Lichtarten zu gebieten hat, lediglich durch *Hinwegnahme* einer gleichartigen Farbe, nicht durch *Hinzufügung* irgend einer Farbe erzielt werden.

Ebenso unmöglich das Letztere ist, ebenso unverständlich würde da Verlangen sein, von einer gewissen Farbe eine *andere* davon *verschiedene* Farbe *hinwegzunehmen*.

Gleichwohl werden Operationen dieser Art durch die Resultate eine Rechnung unabweislich gefordert: es ist daher wichtig, das Mittel zu untersuchen, durch welches diese Ausführung ermöglicht wird. Dieses Mittel heisst *Beschränkung der Anzahl der leuchtenden Punkt in der Flächeneinheit* oder *Verdeckung* einer gewissen Zahl solcher Punkte oder *Verdünnung der Farbe*. Das *praktische Mittel der Malerei* zu diesem Zwecke liegt in der Anwendung eine *schwarzen*, d. h. verdeckenden oder lichtvernichtenden *Pigmentes*

Wir betrachten das *Schwarz* als das Mittel, welches da, wo es sich befindet, alles Licht, also *alle vorhandenen Farben auslöscht* ohne jedoch an den Stellen, wo es sich nicht befindet, irgend einen Einfluss auf die Farbe zu äussern. Die verschiedenen *Grade* des Schwarz bestehen in der verschiedenen Grösse des Theiles der Flächeneinheit, welchen es *deckt*.

Wir wollen aber, da die Wirkung des Schwarz eine negative ist, di Bezeichnung so wählen, dass daraus sofort der Theil der Flächeneinhei erkannt wird, welcher *wirksam* bleibt. Demnach bezeichnen wir mit 0 das *absolute Schwarz*, welches gar *keinen* Theil der vorhandene Farbe *wirksam* lässt oder alles Licht vernichtet, mithin die ganz Flächeneinheit deckt, allgemein aber mit A_s, worin stets $A < 1$ ist, den jenigen Grad von Schwarz, welcher von der vorhandenen Lichtmenge nu den Theil A *wirksam* lässt. Der Ausdruck 1_s bezeichnet das Anfangsglied der Intensitätsgrade von Schwarz, welches *alles* Licht wirksam lässt, also *nichts* vernichtet, folglich überhaupt den Werth *null* hat.

Mischt sich hiernach mit der Farbe $a \,.\, 1_\varphi$ das Schwarz A_s; so bleib die Intensität der elementaren Strahlen der Farbe φ die frühere a; abe die wirklich leuchtende Fläche 1 reduzirt sich auf A. Hiernach ist de Werth der entstehenden Farbe

$$a \,.\, 1_\varphi + A_s = a \,.\, A_\varphi$$

Wenn man von der Farbe $a \,.\, 1_\varphi$, welche die Intensität a hat, di

gleichartige Farbe von der Intensität $a\ (1 - A)$, also die Farbe $a\ (1 - A)\ .\ 1_\varphi$ hinwegnimmt oder wenn man überhaupt die Intensität der einfachen Strahlen der ersteren Farbe von a auf $a\,A$ ermässigt; so erhält man die Farbe $a\,A\ .\ 1_\varphi$. Man hat nämlich

$$a\ .\ 1_\varphi - a\ (1 - A)\ .\ 1_\varphi = a\,A\ .\ 1_\varphi$$

Diese Farbe unterscheidet sich von der durch Mischung mit Schwarz entstandenen Farbe $a\ .\ A_\varphi$ dadurch, dass in jener die Anzahl der leuchtenden Punkte dieselbe geblieben, die Intensität aber vermindert ist, wogegen in dieser die Intensität der leuchtenden Punkte dieselbe geblieben, ihre Anzahl aber vermindert ist.

Für alle die Fälle, wo eine Verminderung der Intensität denselben Effekt hervorbringt, wie eine Verminderung der Quantität, für alle die Fälle also, wo man $a\ .\ A_\varphi = a\,A\ .\ 1_\varphi$ nehmen kann, ist die Beimischung der schwarzen Farbe A_s zu irgend einer Farbe $a\ .\ 1_\varphi$ gleich zu achten der Hinwegnahme der gleichartigen Farbe $a\,(1 - A)\,.\,1_\varphi$. In diesen Fällen wird also auch die Beimischung der Farbe $a\,(1 - A)\,.\,1_\varphi$ durch die Beimischung des Schwarz A_s oder es wird die Beimischung der Farbe $a\ .\ 1_\varphi$ durch die Beimischung des Schwarz $\left(1 - \frac{a}{A}\right)_s$ neutralisirt, sodass für diese Fälle

$$A_s = -\ a\ (1 - A)\ .\ 1_\varphi$$

oder

$$a\ .\ 1_\varphi = -\left(1 - \frac{a}{A}\right)_s$$

gesetzt werden kann.

Die Mischung zweier Grade von Schwarz A_s und B_s giebt den Grad $(A\,B)_s$ von Schwarz. Man hat also

$$A_s + B_s = (A\,B)_s$$

Denn wenn z. B. $A = {}^1/_3$ und $B = {}^1/_4$, d. h. wenn das erste Schwarz den dritten und das zweite Schwarz den vierten Theil des vorhandenen Lichtes deckt; so wird die Auftragung des ersten Schwarz auf eine farbige Fläche von der Grösse der Flächeneinheit den dritten Theil davon wirksam lassen. Die Auftragung des zweiten Schwarz wird von dem leuchtenden Drittel nur noch den vierten Theil, überhaupt also ein Zwölftel der Flächeneinheit wirksam lassen, d. h. man hat $({}^1/_3)_s + ({}^1/_4)_s = ({}^1/_{12})_s$

Eine n-malige Wiederholung desselben Schwarz giebt

$$A_s + A_s + \cdots = A_s^n$$

und wenn die mit Schwarz gemischte Farbe $a\ .\ 1_\varphi + A_s$ n-mal übereinander aufgetragen wird, ergiebt sich

$$n\,a\ .\ 1_\varphi + A_s^n = n\,a\ .\ A_\varphi^n$$

also eine Farbe, bei welcher das Produkt aus Intensität und Quantität $a\,A^n$ ist.

Hieraus geht hervor, dass eine wenn auch noch so wenig mit Schwarz gemischte Farbe bei wiederholter Auftragung nicht heller,

sondern immer dunkler wird und sich rasch dem absolut Schwarzen nähert. Die in einer solchen Mischung mit Schwarz enthaltene Farbe geht also, wie stark sie auch sei, bei fortgesetzter Vervielfältigung endlich ganz verloren, wogegen die Vervielfältigung einer von Schwarz freien Farbe, wie schwach sie auch sei, eine immer höher steigende Intensität annimmt.

Schliesslich müssen wir hervorheben, dass im Vorstehenden bei der Hinzufügung eines schwarzen Pigmentes zu einem farbigen vorausgesetzt ist, in dem farbigen sei der Farbstoff jeder einzelnen Farbe gleichmässig oder stetig über die ganze gefärbte Fläche vertheilt, das schwarze Pigment dagegen falle entweder punktweise auf diese Fläche oder bilde darüber eine zwar stetige, aber verdunkelnde Schicht. Unter solchen Umständen wird das schwarze Pigment von jeder in dem farbigen Pigmente enthaltenen Grundfarbe eine gleiche Quantität (mit der ihr zukommenden Intensität) auslöschen.

Da die Pigmente aus flüssigen Lösungen oder Pulverisirungen hervorgehen; so wird diese Voraussetzung auch der Wirklichkeit stets sehr nahe entsprechen. Denkbar wäre es aber dennoch, dass in dem farbigen Pigmente die einzelnen Grundstoffe sich so gruppirten, dass von den verschiedenen Stoffen immer verschiedene Quantitäten beieinander lägen und dass das schwarze Pigment sich dergestalt auf das farbige legte, dass von dem einen Farbstoffe eine grössere oder kleinere Quantität verdeckt würde, als von dem anderen. Ein solcher Fall gehörte offenbar zu den Seltenheiten und ausserdem könnte die Verschiedenheit der von den einzelnen Farbstoffen verdeckten Quantitäten nicht beträchtlich sein. Des Prinzipes wegen muss jedoch dieses Falles gedacht und dabei bemerkt werden, dass derselbe vorliegt, sobald die Beimischung von Schwarz eine geringe Veränderung der Nuance des farbigen Pigmentes zur Folge hat.

6. Bestimmung der Komplementärfarbe. Wenn die Intensität a der Farbe $a \,.\, 1_\varphi$ unter der normalen 1 liegt, wenn also $a < 1$ ist; so erhält man die Farbe von normaler Stärke durch Hinzufügung von $(1 - a)\, 1_\varphi$. Denn man hat

$$a \,.\, 1_\varphi + (1 - a) \,.\, 1_\varphi = 1 \,.\, 1_\varphi$$

Liegt aber die Intensität a über der normalen oder ist $a > 1$; so kann die normale Farbe durch Hinwegnahme der Farbe $(a - 1) \,.\, 1_\varphi$ erzielt werden. Ausserdem aber kann man in den Fällen, wo es gleichgültig ist, ob die Veränderung durch Verminderung der Intensität oder der Quantität hervorgebracht wird, denselben Effekt auch durch Hinzufügung von Schwarz erzielen. Dieses Schwarz muss dann das $\left(\frac{1}{a}\right)_s$ sein. Man hat nämlich bei der Hinwegnahme der Farbe $(a - 1) \,.\, 1_\varphi$

$$a \,.\, 1_\varphi - (a - 1) \,.\, 1_\varphi = 1 \,.\, 1_\varphi$$

und bei der Hinzufügung des Schwarz $\left(\frac{1}{a}\right)_s$

$$a \cdot 1_\varphi + \left(\frac{1}{a}\right)_s = a \cdot \left(\frac{1}{a}\right)_\varphi$$

und in dem einen wie in dem anderen Falle ist das Produkt aus Intensität und Quantität = 1.

Hiernach ist es leicht, die Komplementärfarbe $\varkappa$ zu irgend einer gegebenen Farbe φ zu bestimmen. In der vorhergehenden Nummer haben wir gezeigt, wie die komplementäre Färbung k aus den Mischungselementen der Farbe φ zu bestimmen ist. Setzt man die mittlere Intensität der gegebenen Farbe φ gleich a und die der komplementären Färbung k gleich b; so hat man nach Obigem, wenn c die Intensität des intensivsten Bestandtheiles der Farbe φ bezeichnet,

$$a \cdot 1_\varphi + b \cdot 1_k = c \cdot 1_w$$

Ist nun der Koeffizient $c < 1$ oder liegt der intensivste Bestandtheil der gegebenen Farbe φ unter dem Normalpunkte; so muss zu dieser Mischung noch das weisse Licht $(1 - c) \cdot 1_w$ hinzugefügt werden, um normales weisses Licht $1 \cdot 1_w$ zu erhalten. Die normale Komplementärfarbe von $a \cdot 1_\varphi$ ist also

$$b \cdot 1_k + (1 - c) \cdot 1_w$$

Ist dagegen der Koeffizient $c > 1$ oder liegt der intensivste Bestandtheil der gegebenen Farbe φ über dem Normalpunkte; so muss die Intensität des sich erzeugenden weissen Lichtes vermindert werden. Diese Verminderung muss an der komplementären Färbung vollzogen werden. Diese Färbung enthält aber kein weisses Licht, wie aus ihrer Bestimmung unzweifelhaft hervorgeht, indem ihr die Farbe γ gänzlich fehlt. Nun lassen sich zwar verschiedene Farben mischen, nicht aber voneinander hinwegnehmen. Die Aufgabe kann also nur dadurch gelös't werden, dass ein gewisser Grad von Schwarz hinzugefügt wird, welcher von der komplementären Färbung k zwar einen gewissen Theil verdeckt, ohne jedoch seine Verbindung mit der gegebenen Farbe φ zu hindern, und welcher auch von dem durch Verbindung entstehenden Weiss immer den entsprechenden Theil verdeckt hält.

Dieser Grad von Schwarz, welcher das Weiss von der Stärke c auf normales Weiss reduzirt, ist $\left(\frac{1}{c}\right)_s$. Die normale Komplementärfarbe von φ ist mithin

$$b \cdot 1_k + \left(\frac{1}{c}\right)_s = b \cdot \left(\frac{1}{c}\right)_k$$

In dem ersten Falle also, wo die gegebene Farbe φ unter dem Normalpunkte liegt oder eine dunkele ist, besteht die normale Komplementärfarbe aus einem farbigen Theile, der komplementären Färbung, und einem weissen Theile und ist eine helle Farbe.

In dem zweiten Falle dagegen, wo die gegebene Farbe φ über dem Normalpunkte liegt oder eine helle ist, besteht die normale Komplementärfarbe aus der komplementären Färbung, gemischt mit Schwarz, ist also eine dunkele Farbe.

Der Fall, wo die gegebene Farbe φ selbst einen Antheil weisses

Licht enthielte, ist im Vorstehenden mit einbegriffen, indem wir ja ausdrücklich gezeigt haben, wie der weisse Bestandtheil, wenn er vorhanden ist, ermittelt werden kann.

Es wäre nur noch der Fall zu betrachten, wo die gegebene Farbe einen Antheil von Schwarz besässe. Angenommen, die gegebene Farbe bestehe aus der Farbe $a \, . \, 1_\varphi$ und dem Schwarz d_s, sei also

$$a \, . \, 1_\varphi + d_s = a \, . \, d_\varphi$$

Ist alsdann k die komplementäre Färbung von φ; so würde die Beimischung von $b \, . \, 1_k$ das Resultat $c \, . \, 1_w + d_s = c \, . \, d_w$ ergeben.

Ist nun $cd < 1$; so muss die weisse Farbe $\left(\frac{1}{d} - c\right) . \, 1_w$ hinzugefügt werden, um als Resultat $c \, . \, 1_w + \left(\frac{1}{d} - c\right) . \, 1_w + d_s = \frac{1}{d} . \, 1_w + d_s = \frac{1}{d} \cdot d_w$, also normales Weiss zu erhalten. Die normale Komplementärfarbe ist also

$$b \, . \, 1_k + \left(\frac{1}{d} - c\right) . \, 1_w$$

Ist dagegen $cd > 1$; so muss das Schwarz $\left(\frac{1}{cd}\right)_s$ hinzugefügt werden, um das Resultat

$$c \, . \, 1_w + d_s + \left(\frac{1}{cd}\right)_s = c \, . \, 1_w + \left(\frac{1}{c}\right)_s = c \, . \left(\frac{1}{c}\right)_w$$

als normales Weiss zu erhalten. Die normale Komplementärfarbe ist dann also

$$b \, . \, 1_k + \left(\frac{1}{cd}\right)_s = b \left(\frac{1}{cd}\right)_k$$

Im Vorstehenden haben wir die normale Komplementärfarbe $\varkappa$ so bestimmt, dass ihre Vermischung mit der Farbe φ normales Weiss von der Stärke 1 ergiebt. Für manche Zwecke kann es wünschenswerth sein, die Komplementärfarben in allgemeinerer Bedeutung, also diejenigen Farben zu betrachten, welche mit φ ein Weiss von irgend einer Stärke m ergeben. Eine solche Farbe nennen wir die Komplementärfarbe vom Grade m.

Der allgemeinste Ausdruck einer mit Schwarz gemischten Farbe φ ist $a \, . \, 1_\varphi + d_s$. Die Beimischung der komplementären Färbung $b \, . \, 1_k$ giebt das Resultat $c \, . \, 1_w + d_s = c \, . \, d_w$, welches in Weiss von der Stärke m zu verwandeln ist.

Ist $cd < m$; so muss die weisse Farbe $\left(\frac{m}{d} - c\right) . \, 1_w$ hinzugefügt werden, um das Resultat

$$c \, . \, 1_w + \left(\frac{c}{d} - c\right) . \, 1_w + d_s = \frac{m}{d} \cdot 1_w + d_s = \frac{m}{d} \cdot d_w$$

also Weiss von der Stärke m zu ergeben. Die Komplementärfarbe vom Grade m ist mithin

$$b\,.\,1_k + \left(\frac{m}{d} - c\right).\,1_w$$

Ist aber $cd > m$; so muss das Schwarz $\left(\frac{m}{cd}\right)_s$ hinzugefügt wer-
en, um das Resultat

$$c\,.\,1_w + d_s + \left(\frac{m}{cd}\right)_s = c\,.\,1_w + \left(\frac{m}{c}\right)_s = c\,.\left(\frac{m}{c}\right)_w$$

so Weiss von der Stärke m zu ergeben. Die Komplementärfarbe vom
ade m ist daher

$$b\,.\,1_k + \left(\frac{m}{cd}\right)_s = b\,.\left(\frac{m}{cd}\right)_k$$

Hierdurch ist die Aufgabe der Bestimmung der Komplementär-
rben der verschiedenen Grade vollständig gelös't.

Wir machen darauf aufmerksam, dass es eine Komplementärfarbe
m Grade null, also eine Farbe, deren Mischung mit der gegebenen
len Lichteffekt vernichte, nicht geben kann. Eine solche Farbe,
r welche $m = 0$ sein müsste, wäre nach der letzten Formel $b\,.\,1_k + 0_s$
$= b\,.\,0_k$, also absolutes Schwarz.

**7. Einfluss des Nervenprozesses auf die Verbindung und
rennung von Farben.** Der geistige Farbeneindruck beruht un-
ittelbar auf dem im Sehnerven erregten Nervenprozesse, also auf
ner subjektiven Thätigkeit, und dieser Prozess wird hervorgerufen
urch die Erschütterungen des vibrirenden Äthers, welche selbst
re Impulse von dem leuchtenden Objekte empfangen. Jedem Farben-
ıdrucke liegt also eine objektive und eine subjektive Thätigkeit zu
runde. Diese beiden Thätigkeiten sollten bei ganz normaler Einrich-
ng des Organismus miteinander genau harmoniren, sodass die allgemei-
n Gesetze der einen zugleich die Stellvertreter der allgemeinen Gesetze
r anderen sind. Wäre der Organismus jedoch nicht ganz vollkommen
baut; so könnten beide Thätigkeiten mehr oder weniger voneinander
weichen, d. h. die subjektiven Farbengesetze würden nicht glei-
en Schritt halten mit den objektiven.

Alle vorstehenden Betrachtungen über die Farben beziehen sich nun
nächst auf den objektiven Vorgang und alsdann auf den subjekti-
n unter der Voraussetzung vollkommener Übereinstimmung zwischen
esen beiden Prozessen; überhaupt stellen sie die absoluten Gesetze eines
rbenprozesses, sei er ein objektiver oder ein subjektiver, dar, insofern
eser Prozess nur in allen Stücken den allgemeinen und reinen Prinzipien
gt. In Wirklichkeit machen sich nun bei dem subjektiven Vorgange,
mlich bei dem Nervenprozesse gewisse Abweichungen von den ab-
luten Prinzipien der Verbindung und Trennung geltend. Diess hat zur
lge, dass bei der Verbindung zweier Farbenprozesse die einzelnen
undbestandtheile sich nicht einfach summiren, sondern sich mehr oder
niger in ihrer Intensität ändern.

Demzufolge stimmen die objektiv komplementären Farben nicht
nau mit den subjektiv komplementären überein. Den Unterschied

können wir jedoch erst in §. 65 nachweisen, nachdem wir die Natur de physiologischen Nervenprozesses erläutert haben. Es ist daher nöthig hervorzuheben, dass so oft in dieser Schrift von physiologischen Effekten der Komplementärfarben und der Farben überhaupt die Rede ist hierbei nur die Gesetze des subjektiven Nervenprozesses maassgebend sind.

§. 21.

Schärfe des Sehens.

1. Spannung, welche die Schärfe des Sehens bedingt. Man kann einen Gegenstand in bestimmter Entfernung und von bestimmter Lichtstärke mehr oder weniger scharf beobachten. Mit der grösseren Schärfe der Fixirung ist eine Anstrengung des Auges verbunden, welche einer vermehrten Spannung aller Organe behuf Herstellung einer möglichst richtigen Akkommodation entspricht.

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass man unter dem eben gebrauchten Ausdrucke Spannung nicht ausschliesslich mechanische Spannung zu verstehen hat, dass dabei vielmehr der allgemeinere Begriff von Kraftspannung in Betracht kömmt.

Nach §. 9 wird überhaupt das Auge durch eine vom Gehirne ausgehende Spannung oder Thätigkeit zur Aufnahme von Lichteindrücken befähigt. Im Schlafe, im schlaftrunkenen Zustande, in der Zerstreuung, im Zustande der Unaufmerksamkeit, fehlt diese Spannung mehr oder weniger: das Auge sieht die sichtbaren Gegenstände schlechter oder gar nicht. Man darf diese subjektive Spannung nicht mit derjenigen Nerventhätigkeit verwechseln, welche durch den Impuls des äusseren Lichtstrahles erweckt wird und in Verbindung mit jener subjektiven Thätigkeit den bewussten Gesichtseindruck erzeugt. Diese mehr objektive Thätigkeit kann zwar nur dann vom äusseren Lichtstrahle ins Leben gerufen werden, wenn jene subjektive Thätigkeit besteht; sie wird auch graduell von Letzterer beeinflusst und endlich vermag eine starke Lichterschütterung das schlafende Auge aus dem Zustande subjektiver Unthätigkeit zu rütteln, also das Gehirn zur Ausübung der fraglichen subjektiven Thätigkeit und dadurch zur Empfängniss der objektiven Nervthätigkeit zu veranlassen: trotz dieses Abhängigkeitsverhältnisses sind doch jene beiden Thätigkeiten prinzipiell ganz verschieden und bis zu einem gewissen Grade voneinander unabhängig. Das Gehirn kann also über die subjektive Spannung aus inneren Antrieben, theils unter der Herrschaft des Willens, theils unter der Herrschaft anderer unfreiwilligen Prozesse in gewissem Maasse gebieten, wenngleich diese subjektive Thätigkeit von den objektiven Lichtimpulsen beeinflusst wird.

Demgemäss können wir die Schärfe der Beobachtung freiwillig steigern, wiewohl auch ohne solches Zuthun die Schärfe des Lichtbildes durch Erhöhung des objektiven Impulses, nämlich durch vermehrte Hellig-

eit des Objektes wächst. Bei ungenügender Helligkeit und bei beeutender Kleinheit der Objekte, müssen wir die innere Spannung stei-ern, um deutlich zu sehen, und hieraus erklärt sich das Angreifende er Augenarbeit in der Dämmerung und beim Lesen kleiner chrift, überhaupt bei anhaltender scharfer Beobachtung.

Indem wir die Schärfe des Sehens steigern, verändert sich die Pupille verschiedener Weise, je nachdem die Sehweite unter oder über der mitt-ren Sehweite liegt. Ist die Entfernung des Objektes kleiner als die ittlere Sehweite; so verengt sich bei schärferer Fixirung des Objektes e Pupille und die Augenlider schliessen sich etwas: ist die Entfer-ung aber grösser als die mittlere Sehweite; so erweitert sich die Pu-ille und die Augenlider öffnen sich ein wenig.

2. Schärfe des Netzhautbildes, abhängig von der Zusammen-tzung der Stäbchenschicht. Das Vorstehende bezog sich auf die härfe, welche wir der Gesichtsvorstellung durch subjektive Steigerung r Sehthätigkeit geben können. Andererseits ist die Schärfe dieser Vor-ellung bedingt durch die Feinheit des ganzen Sehorgans, und es kon-rrirt hierbei die Genauigkeit des Lichtbildes in der Netzhaut mit der rt und Weise der Fortpflanzung des äusseren Lichteindruckes nach dem ehirne.

Die besondere Konstruktion der Stäbchenschicht ist hierbei von sonderer Wichtigkeit.

Jedes Stäbchen bildet den Rezipienten des Lichteindruckes des fallenden Lichtstrahles oder Lichtbündels, zugleich aber auch das An-gselement der Nervenleitung, welche diesen Eindruck, nach gewissen nwandlungen in der Zellenhaut, zum Gehirne führt.

Die dicht zusammengedrängten Stäbchen bilden eine zusammenhän-nde Fläche, welche in jedem Punkte einen Lichteindruck aufnehmen nn. Die Isolirung der Elemente scheint aber in zweierlei Hinsicht chtig zu sein. Einmal verhütet die Absonderung des Rezipienten in nzelne Elemente die Ausbreitung des Lichteindruckes auf eine össere Fläche, wie sie bei einem stetigen Rezipienten wegen der ge-nseitigen Beeinflussung der kleinsten organischen Bestandtheile wahr-heinlich unvermeidlich sein würde. Ausserdem ist die Herstellung der ibchenschicht aus getrennten Elementen in der Beziehung wesentlich, s diese Schicht hierdurch befähigt wird, Formveränderungen zu eiden, sich vor- und zurückzuziehen, ihre Krümmung zu ver-dern, sich zu verschieben, und dabei solche Spannungen anzu-nmen, welche für die Empfängniss, Fortpflanzung und Erkenntniss der hervibrationen nach §. 8, 16 und 18 von Wichtigkeit sind. Die Zusammen-zung aus isolirten Stäbchen macht es auch möglich, dass diese elementaren htrezipienten gegen den Kreuzungspunkt der Lichtstrahlen im Auge d gegen die Ader- und Nervenhaut trotz der Formveränderungen des gapfels stets dieselbe Stellung bewahren können, was man von den or-nischen Elementen einer elastischen Haut nicht sagen könnte. Auch eses ist für die optischen Gesetze des Auges von Bedeutung. Die Ein-altung der dickeren und pressbareren Zapfen zwischen die Stäbchen rfte das wesentliche Hülfsmittel zur Ermöglichung der Verschiebbar-

keit der Stäbchen sein, welche wir in No. 7 experimentell nachweisen werden.

Ausserdem haben wir in §. 18 No. 2 gezeigt, dass die Ausbildung der Nervensubstanz zu prismatischen Körperchen zur Erzeugung eines bestimmten Vibrationszustandes, auf welchem die Erkenntniss der Richtung beruht, wesentlich ist.

Die vorstehende Anschauung scheint zu der Annahme zu nöthigen, dass die Querschnitte der Stäbchen die kleinsten Elemente seien, aus welchen die physiologische Wirkung des Netzhautbildes, also die geistige Vorstellung eines sichtbaren Gegenstandes zusammengesetzt sei. Wir fühlen uns veranlasst anzunehmen, der Sinneseindruck eines solchen Bildes sei der eines Mosaikgemäldes, dessen kleinste Theile den Querschnitten der Stäbchen entsprechen.

Hierdurch würde der Schärfe des Sehens eine bestimmte Grenze gesetzt sein, über welche man sich leicht Rechenschaft geben kann. Wenn die Stäbchen eine Dicke von 0,0018 Mm. haben und die Entfernung des Kreuzungspunktes der Lichtstrahlen im Auge von der Netzhaut zu 15 Mm. angenommen wird; so beträgt jene Dicke 0,00012 $= {}^{1}/_{8333}$ dieser Entfernung. Wäre also ein Objekt kleiner als der 8333-ste Theil der Sehweite, so würden wir an demselben keine Form mehr unterscheiden können: alle diese Objekte würden uns nur wie ein Punkt erscheinen können, wobei das kleinere Objekt uns (wegen des kleineren Lichtkegels) nur schwächer, nicht aber kleiner, ja wenn dasselbe auf die Grenze zweier Stäbchen fiele, sogar grösser erscheinen würde.

In der mittleren Sehweite von 250 Mm. müsste die Unterscheidung der Form für Objekte aufhören, welche kleiner sind als 0,03 Mm. In der Entfernung eines Meters müsste Diess bei Objekten geschehen, welche kleiner als 0,12 Mm. sind, und in der Entfernung von $8^{1}/_{3}$ Meter müssten alle Objekte als Punkte erscheinen, deren Durchmesser kleiner als 1 Millimeter ist.

Ich finde allerdings, dass in meinem ziemlich scharfen Auge bei gewöhnlicher Beleuchtung der Objekte die Grenze der Undeutlichkeit sogar noch früher eintritt. Die in Fig. 153 dargestellten Figuren, von welchen die grössten einen Durchmesser von 1 Mm. haben, erscheinen mir schon aus einer Entfernung von 3 Meter als unterschiedslose Punkte und bei einer Entfernung von $1^{1}/_{2}$ Meter, wenn also zu dem Netzhautbilde jeder Figur etwa 36 Stäbchen erforderlich sind, hört schon die Deutlichkeit in der Hinsicht auf, dass die Gestalt des Kreises, des Viereckes, des Dreieckes nicht mehr erkannt werden kann.

Fig. 153.



3. Akkommodation der Stäbchenschicht und Erhöhung der Schärfe des Netzhautbildes. Trotz der vorstehenden Beobachtung bin ich der Ansicht, dass die Schärfe des Netzhautbildes bei angemessener Beleuchtung des Objektes einen höheren Grad erreicht, als ein Mosaikgemälde auf einem Netze von unveränderlichen Maschen, welche den Querschnitten der Stäbchen entsprechen, ergeben würde. Es

scheint mir nämlich unzweifelhaft zu sein, dass die Zerlegung der Stäbchenschicht in lauter kleine, isolirte, stabförmige Körper, welche auf der Aderhaut stets normal stehen, wesentlich den Zweck hat, dieses Anfangsglied der Nervenleitung zu befähigen, den Akkommodationsbewegungen des Auges, insbesondere den Formveränderungen der Aderhaut zu folgen, ohne die Vollkommenheit des ganzen Systems zu beeinträchtigen, ausserdem aber um durch die besondere Form dieser Körper die in §. 18 erwähnte besondere Schwingungsweise herbeizuführen, welche die Erkenntniss der Richtung ermöglicht. Es ist kein hinreichender Grund zu der Annahme vorhanden, dass hierdurch die Stetigkeit der Empfindung aufgehoben sei, oder dass nur ein einzelnes Stäbchen als selbstständiges Organ empfinden könnte. Die Betrachtung über die Erkenntniss der Entfernung in §. 16 hat uns vielmehr dazu geführt, eine solche Annahme zurückzuweisen und die Netzhaut als eine stetige und stetig empfindende Nervenmasse zu betrachten. Gleichwohl wird es zur Deutlichkeit beitragen, wenn der Strahlenkegel mit seiner Spitze genau in die Axe eines Stäbchens trifft, da diese Stäbchen doch in mancher Hinsicht den Charakter von konstituirenden Grundelementen an sich tragen.

Da die Stäbchen in allen Richtungen beweglich sind und sich nach dem Plane der Erzielung eines möglichst vollkommenen Lichtbildes wirklich bewegen (beim Vor- und Zurückziehen der Aderhaut bewegen sie sich in der Richtung ihrer Axe, bei der stärkeren oder schwächeren Krümmung dieser Haut, welche gleichzeitig mit jener Bewegung erfolgt, bewegen sie sich seitwärts); so muss man schliessen, dass diese Beweglichkeit von der Natur auch so weit benutzt werde, wie es zur möglichst vollständigen Erreichung des Grundzweckes nothwendig ist und geschehen kann. Ich nehme daher an, dass sich die Stäbchen nicht bloss unter dem Zwange der übrigen Akkommodationsthätigkeiten, welche durch die Veränderung der Entfernung, der Farbe, der Helligkeit u. s. w. eintreten, sondern auch selbstständig verschieben können, um die Genauigkeit des Lichtbildes zu erhöhen, wobei sie natürlich stets an die Aderhaut gefesselt bleiben.

Die Konzentration der Strahlen eines Lichtbündels abc (Fig. 154) soll meines Erachtens unter normalen Verhältnissen genau auf der Oberfläche b der Aderhaut stattfinden. Der Reiz, welcher das Auge veranlasst, sich so zu verändern, dass Diess wirklich stattfindet, liegt, wie wir schon in §. 7 No. 5 hervorgehoben haben, darin, dass sich in jedem anderen Falle, z. B. bei der Konvergenz nach Fig. 155, Zerstreuungskreise de bilden. Allein es kömmt noch ein Zweites in Betracht. Nur bei der Konzentration auf der Aderhaut nach Fig. 154 fällt der austretende Strahlenkegel genau mit dem ein-

Fig. 154.

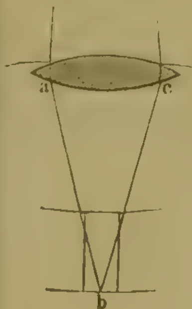
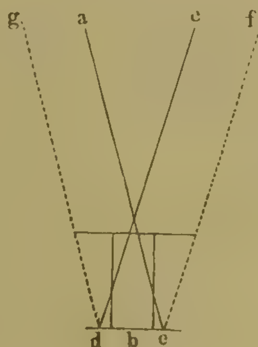


Fig. 155.



tretenden zusammen, indem der einfallende Strahl *ab* in der Richtung *bc* und der einfallende Strahl *cb* in der Richtung *ba* austritt, während bei der Konvergenz vor oder hinter der Aderhaut, z. B. nach Fig. 155, sich bei der Reflexion ein Zerstreuungskegel bildet. Für letezteren Fall überträgt sich ein grosser Theil der Lichtwirkung auf die benachbarten Stäbchen, geht also nicht bloss dem Stäbchen *b* verloren, sondern erzeugt auch Störungen und Undeutlichkeiten; ausserdem aber wird das Stäbchen *b* durch die eintretenden Strahlen ganz anders, als durch die austretenden afficirt, kann also nicht in eine so regelmässige Thätigkeit versetzt werden. Hiernach werden sich die Aderhaut und die Stäbchenschicht in dem Bestreben unterstützen, den Konzentrationspunkt genau auf die Aderhaut zu bringen, und ich mache nochmals darauf aufmerksam, dass die Dimensionen der Stäbchen von der Art sind, dass bei scharfem Sehen, also bei kleiner Pupille der Strahlenkegel *abc* in dem Raume eines Stäbchens nahezu Platz findet, sodass in diesem Falle die Nachbarstäbchen nur an ihrem äussersten und oberen Rande von jenem Kegel berührt werden.

Die Meinung, dass die Stäbchen aus einer Masse bestehen, welche das Licht stark absorbire, um dadurch die Funktion des Sehens zu erleichtern, kann ich nicht theilen. Denn starke Absorption bedingt starke Diffusion nach allen Richtungen (vergl. §. 2 No. 4) und letztere Eigenschaft könnte nur störend wirken: ausserdem ersieht man nicht, in welcher Weise eine starke Absorption den Sehplan fördern würde.

Ebenso wenig kann ich mich der anderen Meinung anschliessen, dass die schlanke Form der Stäbchen den Zweck habe, zu verhüten, dass die in ein Stäbchen eingetretenen Strahlen weder beim Hingange, noch bei dem Hergange nach der Reflexion auf der Aderhaut in ein benachbartes Stäbchen eindringen können, weil sie an den Wänden jenes Stäbchens eine totale Reflexion erlitten. Da die sich berührenden Stäbchen eine gleichartige Masse bilden und in ihren Fugen sicherlich von einer nahezu gleich stark brechbaren Feuchtigkeit benetzt sind; so kann von keiner erheblichen Reflexion an ihren Seitenwänden die Rede sein. Ausserdem lehren die Zerstreuungskreise in dem ungenau akkommodirten Auge, dass die Stäbchen in sehr flach geneigten Richtungen durchstrahlt werden.

Damit die obige Wirkung vollkommen zu Stande komme, wird es nützlich sein, dass die Spitze *b* des Strahlenkegels in die Mitte der Basis falle. Ausserdem ist zu dieser Vollkommenheit nothwendig, dass auch die Axe des Strahlenkegels mit der Axe des Stäbchens zusammenfalle. Ich nehme daher an, dass die Stäbchen sich so zu stellen trachten, dass ihre Axe in die Axe des von einem Punkte ausgehenden Strahlenkegels und dass die Spitze dieses Kegels auf die Basis des betreffenden Stäbchens fällt, sodass jedes Stäbchen symmetrisch und möglichst vollkommen von dem Lichtbündel affizirt wird.

Da die Stäbchen aus einem ziemlich harten und elastischen Stoffe bestehen und ausserdem mit den sehr dehnbaren Zapfen untermischt sind; so ist es nicht nöthig anzunehmen, dass bei diesem Bestreben irgendwo eine Trennung zwischen den Stäbchen eintrete.

Aus dem Streben nach symmetrischer Affektion folgt dann ferner,

dass wenn das Objekt eine *Linie* ist, wenn also die Axen aller Strahlenkegel, welche in ein Stäbchen fallen können, eine *Ebene* bilden, das Stäbchen sich so stellen wird, dass diese *Ebene durch seine Axe* geht.

Durch dieses Verhalten der Stäbchen wird die Genauigkeit des Lichteindruckes noch in der Hinsicht erhöht, dass das Lichtbild auf einem *Grunde von beweglichen Elementen* entworfen wird, welche sich so stellen, dass jeder Linienzug die Elemente *in der Mitte* durchschneidet.

Endlich kömmt noch in Betracht, dass der *Nervenfaden*, welcher sich an das Stäbchen ansetzt, keine *mathematische Linie*, sondern ein Strang von *gewisser Dicke* ist (Fig. 156). Durch die Verwachsung mit dem Stäbchen wird derselbe eine organische Fortsetzung desselben, und hierdurch wird es erklärlich, dass die Lage der Linie oder der Fläche, in welcher das Stäbchen von den Resultanten der Lichtkegel affizirt wird, zur *Empfindung* und zum *Bewusstsein* gelange und dass ein solcher Linien- oder Flächenzug *in voller Stetigkeit* empfunden wird.

Fig. 156.



4. Akkommodation auf die Figur des Objektes. In der vorstehenden Auffassung liegt zugleich das Anerkenntniss, dass die *Figur* des Objektes Einfluss auf die Akkommodationsthätigkeit des Auges ausübt, indem sich die Stäbchen nach den *Linienzügen* des Netzhautbildes arrangiren. Die auf eine weisse Fläche mit einfachen Linien gezogene Figur wird also das Auge zu einer anderen Thätigkeit veranlassen, wie die unterschiedslose Fläche. Hierdurch erläutern sich manche Erscheinungen über die Wirkung von *Objekten*, welche mit den Flächen, auf welchen sie liegen, ganz gleiche Entfernung und Farbe haben, also die Hauptakte der Akkommodation nicht weiter beeinflussen können, welche aber durch ihre *Figur* sich auszeichnen, eine spezifische Thätigkeit im Auge hervorrufen und die Aufmerksamkeit erhöhen, welche sonst bloss durch den *Helligkeitsunterschied* zwischen der Linienfigur und der Fläche bedingt sein würde.

5. Dichtigkeit in der Stellung der Stäbchen. Die Annahme der Beweglichkeit der Stäbchen nöthigt ferner zu der Annahme, dass sich dieselben beim *schärferen Sehen* in Folge der erhöhten Nerventhätigkeit, sowie auch bei *wachsender Lichtintensität* *enger zusammendrängen* oder unter Mithülfe der elastischen Zapfen *stärker aneinanderpressen*.

Eine mehr oder weniger lockere Stellung der Stäbchen ist auch mit der besonderen *Krümmung und Form* verbunden, zu welcher die Netzhaut bei der Akkommodation auf die Entfernung, Grösse und Farbe des Objektes genöthigt wird.

6. Richtung der Stäbchen. Wiewohl die Stäbchen im Allgemeinen normal auf der gekrümmten Fläche der Netzhaut stehen; so muss man doch zugestehen, dass dieselben in Folge der verschiedenen Form- und Dichtigkeitsveränderungen, welche in dieser Haut und in den übrigen Organen des Auges stattfinden, unter besonderen Verhältnissen eine von der normalen abweichende, also *schiefe* Stellung gegen die Normale der Netzhaut annehmen können.

7. Nachweis der Beweglichkeit der Stäbchenschicht. Die Beweglichkeit der Stäbchenschicht lässt sich durch folgende Experimente nachweisen.

Wenn man in ein Kartenblatt (Fig. 157) in einem Abstande *ab*,

Fig. 157.



welcher etwas kleiner als der Abstand der beiden Augen ist, die beiden Figuren *a* und *b* einsticht, welche nahezu, aber nicht ganz gleich sind, z. B. die Eckpunkte von zwei nicht ganz gleich grossen Dreiecken oder nach Fig. 158 je zwei in gleichen Abständen, aber nicht genau in derselben

Fig. 158.



Richtung liegende Punkte; so findet man, indem man das Blatt gegen den Himmel hält und die Augen auf eine grössere Entfernung akkommodirt, dass die beiden mittleren der durch diese falsche Akkommodation entstehenden Doppelbilder trotz ihrer deutlich erkennbaren Ungleichheit sich zu einem einzigen Bilde vereinigen. Eine solche Vereinigung ungleicher Lichteindrücke in beiden Augen kann zwar nach §. 13 auch in Folge des Wettstreites der Sehfelder entstehen, indem das eine Auge nur einen Theil der Figur *a* und das andere Auge den übrigen Theil der Figur *b* sieht: allein wenngleich dieser Vorgang, also das partielle Erlöschen der Figuren *a* und *b* in jedem Auge möglich ist und auch faktisch vorkömmt; so überzeugt man sich doch durch aufmerksame Beobachtung, dass die wesentliche Ursache der Verschmelzung der beiden Figuren nicht in diesem partiellen Erlöschen, sondern in einer Verziehung der Netzhautbilder in beiden Augen liegt.

Der Wettstreit findet überhaupt nur zwischen korrespondirenden Nervenfasern oder Stäbchen statt. Bei ungleichen Figuren werden nun nicht korrespondirende, sondern differente Netzhautstellen getroffen. Das Erlöschen eines Punktes der Figur *a* oder *b* ist hierdurch zwar nicht unmöglich gemacht, da ja die von diesem Punkte getroffene Faser zuweilen unthätig und die korrespondirende Faser des anderen Auges thätig sein kann, selbst wenn die letztere keinen Lichteindruck empfängt: allein immer kann unter solchen Umständen der Wettstreit sich nicht in lebhaftem Grade und dauernd geltend machen. In der That erkennt man deutlich, dass die Verschmelzung der beiden ungleichen Figuren nicht durch das Verlöschen gewisser Theile der Doppelgestalt, sondern in folgender Weise sich vollzieht.

Indem man die Augen auf eine grössere Entfernung akkommodirt, nähern sich die mittleren Doppelbilder von *a* und *b* einander und die beiden Bilder desjenigen Punktes, welchen man vorzugsweise fixirt, dringen

nit besonderer Gewalt aufeinander ein und vereinigen sich zuerst. Als-lann erscheinen häufig die übrigen Theile beider Figuren gleichzei-ig und stellen eine Kompositionsfigur dar, etwa wie Fig. 159, welche sich us Fig. 157 bildet, oder wie Fig. 160, welche sich aus Fig. 158 bildet.

Fig. 159.

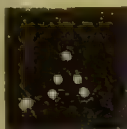
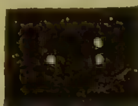


Fig. 160.



Die noch nicht vereinigten homologen Doppelpunkte lassen nun ein deutlich zu empfindendes Bestreben nach Vereinigung erkennen; sie nähern sich demzufolge einander und gehen endlich ineinander über. Die einfache Figur stellt sich ein, indem das Bild sich etwas dem *b* und das Bild *b* etwas dem *a* nähert, nicht indem von en zuletzt erwähnten noch unvereinigten Doppelpunkten je einer plötz-ich erlischt.

Wenn die Ungleichheit der beiden Figuren *a* und *b* zu gross wird, st die Verschmelzung nicht mehr möglich. So vereinigen sich in meinem uge nicht mehr die beiden Figuren *a* und *b* aus Fig. 161. Bei einer

Fig. 161.



o erheblichen Verschiedenheit findet nur vorübergehend ein abwechselndes erlöschen und Wiederauftauchen des einen oder anderen Punktes in Folge es Wettstreites statt. Von diesen plötzlichen Veränderungen kann ıan sehr wohl das Bestreben zur Verschmelzung durch Annäherung er homologen Doppelpunkte unterscheiden. Dieses Bestreben dauert auch ı letzterem Falle, wiewohl erfolglos fort und bewirkt, dass die homologen unkte der Doppelbilder sich in fortwährenden Bewegungen gegeneinnder erhalten und dadurch dem Gesammtbilde eine fortwährend schwanende Gestalt verleihen.

Der bestimmteste Beweis aber, dass hier eine Verschmelzung weier Bilder durch Verziehung der beiden Netzhautbilder, nicht twa ein partielles Erlöschen von Theilen in jedem Netzhautbilde statt-ndet, ergiebt sich daraus, dass die resultirende Erscheinung nach Form nd Grösse eine Mittelgestalt zwischen den beiden Figuren *a* und *b* innimmt. Am besten zeigt sich Diess, wenn man nach Fig. 162 zu den

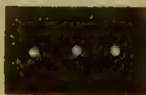
Fig. 162.



Fig. 163.



Fig. 164.



beiden Bildern *a* und *b* zwei Figuren nimmt, welche in Beziehung zu einer horizontalen oder vertikalen Linie symmetrisch sind. Beruhte die Vereinigung auf dem Wettstreite der Sehfelder und demzufolge auf dem Erlöschen korre-

spondirender Netzhautpunkte; so müsste die resultirende Erscheinung aus der vollständigen Form Fig. 163 bald in die Form *a* Fig. 162, bald in die Form *b* Fig. 162 übergehen. Sie thut aber keins von Beiden, sondern geht in die Mittelform Fig. 164 über. Letzteres ist offenbar nur dadurch möglich, dass das Netzhautbild von *a* sich dem von *b* und dass umgekehrt das Netzhautbild von *b* sich dem von *a* nähert.

Den Vorgang im Auge erkläre ich folgendermaassen. In Fig. 165 seien *bb'*, sowie auch *cc'* zwei korrespondirende Netzhautstellen oder Stäbchen. Wenn im linken Auge das Stäbchen *b*, im rechten Auge aber nicht

Fig. 165.



das korrespondirende Stäbchen *b'*, sondern ein nahe gelegenes differentes Stäbchen *c'* von einem gleichen Lichtkegel getroffen wird; so haben die Augen bekanntlich das Bestreben, die gleichen Lichteindrücke auf korrespondirende Nervenfasern zu führen und stellen zu dem Ende ihre Augen in die geeigneten Richtungen oder in den entsprechenden Konvergenzwinkel. Dieses Bestreben geht von den korrespondirenden Nervenfasern aus: ist es also in einem gewissen Falle unmöglich, durch geeignete Konvergenz der Augenaxen jenen Zustand des stabilen Gleichgewichts zu erzielen; so verschieben sich in Folge der fortbestehenden Spannung zwischen jenen Fasern die Stäbchen selbst, d. h. ein zwischen *b* und *c* liegendes Stäbchen *d* rückt in den Punkt *b* und das zwischen *b'* und *c'* liegende, mit *d* korrespondirende Stäbchen rückt in den Punkt *c'*.

Auf diese Weise wird es dahin gebracht, dass korrespondirende Stäbchen und Fasern gleiche Lichteindrücke empfangen, obgleich ihre Endpunkte *b*, *c'* keine räumlich korrespondirenden Stellen einnehmen. Wenn jetzt auch von den beiden Lichtaffektionen bei *b* und *c'* die eine wegen des Wettstreites erlischt; so ist die Gesichtsvorstellung doch immer dieselbe und zwar gleich derjenigen, welche der Lage der Fasern *dd'* im Sehnerven und im Gehirne entspricht: diese Lage bezeichnet eine Mittelstellung zwischen den beiden Eindrücken, welche sich unter normalen Verhältnissen durch die Affektion der beiden Punkte *b* und *c* oder *b'* und *c'* erzeugen würde.

Die im Vorstehenden nachgewiesene Beweglichkeit der Stäbchenschicht ist für die physiologische Optik von besonderer Wichtigkeit. Sie enthält nach den vorhergehenden Nummern das Mittel zur Erzeugung eines möglichsten scharfen und genauen Netzhautbildes in jedem einzelnen der beiden sehenden Augen. Ausserdem bewirkt sie, wie wir soeben gezeigt haben, dass wenn die Netzhautbilder desselben Objektes in beiden Augen auf differente Netzhautstellen fallen, welche nur wenig voneinander abweichen, durch Verschiebung der Stäbchen vollkommene Identität der Netzhautstellen hergestellt wird. Dieser Fall tritt nun vorzugsweise dann ein, wenn man ein Objekt mit beiden Augen betrachtet: liegt dieses Objekt nicht in der Horopterfläche; so fallen seine Bilder

mer auf differente Netzhautstellen: ist nun die Abweichung von der oropterfläche nicht allzu bedeutend; so verzieht sich die Stäbchenschicht weit, dass die beiden Lichtbilder auf korrespondirende Stellen fallen, ss also das Objekt einfach erscheint.

Wenngleich wir die Beweglichkeit der Stäbchen nur in der Richng der Netzhaut nachgewiesen haben; so liefert dieser Nachweis doch gleich eine starke Stütze für die im Früheren ausgesprochenen Ansicht, s die Stäcbhen auch normal zur Netzhaut beweglich seien, also die genschaft besitzen, vermöge welcher sie die Akkommodation des ges auf die in verschiedenen Entfernungen liegenden Punkte eines jektes vervollkommnen (vergl. §. 8, No. 24 und §. 16).

8. Entfernung, Bezirk und Tiefe des deutlichen Sehens. Gelr Fleck. Es ist schon in §. 17 erwähnt, dass das Auge in einer Entnung von etwa 250 Millimeter, der sogenannten mittleren Sehite am deutlichsten, schärfsten und richtigsten sieht.

Mit aller Schärfe sieht man überhaupt nur einen Punkt und am ärfsten denjenigen Punkt, welcher in der mittleren Sehweite in der htung der (physiologischen) Augenaxe liegt, dessen Bild also auf den ysiologischen) Pol des Auges fällt. Seitwärts von diesem Pole verliert die Deutlichkeit des Sehens allmählich, und der Bezirk des deuthen Sehens ist diejenige nahezu kreisförmige Fläche, innerhalb wer die Deutlichkeit noch genügend ist. In einem ganz vollkommenen ge sollte wohl der Bezirk des deutlichen Sehens einen konzentrischen eis um den physiologischen Pol bilden: in Wirklichkeit ist jene Fläche och häufig gegen jenen Pol etwas verschoben.

Dieser Bezirk, welcher sich im Auge dadurch auszeichnet, dass die den der Faserschicht der Netzhaut und auch die Adern der Netzhaut ht darüber hinwegziehen, also die Lichtwirkung auf die Stäbchen nicht beeinträchtigen, hat einen Durchmesser von etwa 1 Millitter. Derselbe entspricht, da der Abstand des Kreuzungspunktes von Netzhaut etwa gleich $14^1/_4$ Mm. ist, einem Sehwinkel von etwa 6 ad, also einem Objekte von etwa 18 Millimeter oder $^2/_3$ Zoll Durchsser in der mittleren Sehweite.

Der Bezirk des deutlichen Sehens ist im Menschenauge, namentlich h dem Tode, der gelbe Fleck (*macula lutea*). Einige Schriftler behaupten, dieser Fleck bilde eine Vertiefung in der Netzhaut, Netzhautgrube (*fovea centralis* oder *plica centralis*): Ruete hthalmologie S. 110) versichert jedoch bestimmt, dass diese Vertieg, sowie auch das im gelben Flecke sich zuweilen bildende Loch (*fora centrale*) nur ein Produkt des Todes sei. Möglich wäre es ja wohl, die Faserschicht und die Adern der Netzhaut nicht über den gelben ck hinweggehen, dass derselbe auch im Leben eine geringe Vertiefung böte. Dieselbe kann aber nur dem Glaskörper zugekehrt sein: die erhaut, also auch die äussere Seite der Stäbchenschicht nimmt auf kei- Fall an dieser Vertiefung Theil. Da sich nun nach unserer Ansicht Prozess des Sehens, die Bildung und Empfängniss des Lichtbildes ischen der Netzhaut und der Aderhaut vollzieht; so ist jene tiefung für das Sehen immer ohne Bedeutung: wäre sie aber im Leben

wirklich vorhanden; so würde sie wesentlich zur Unterstützung unserer Ansichten über die Funktionen der Stäbchenschicht und der Aderhaut beitragen.

Auch in der Dimension der Tiefe verliert sich die Deutlichkeit des Sehens sowohl vorwärts wie rückwärts vom Endpunkte der mittleren Sehweite. Für die in der Richtung der Augenaxe liegenden Punkte hat der Raum des deutlichen Sehens etwa denselben Durchmesser wie der auf jener Axe normal stehende Flächenbezirk. Für die gegen die Augenaxe konvergirenden Richtungen nimmt die Tiefendimension ab, so dass der Raum des deutlichen Sehens nahezu eine Kugel bildet, deren Mittelpunkt am Ende der mittleren Sehweite von 250 Millimeter liegt und deren Radius nahezu 9 Millimeter oder $^1/_3$ Zoll beträgt.

9. Bezirk gleichmässiger Deutlichkeit. Diese Verhältnisse des Kugelbezirkes des deutlichen Sehens haben nun noch eine andere wesentliche Bedeutung für das Gesicht. Wenn nämlich die Sehweite a nicht die mittlere von 250 Mm. ist; so werden mit dem Deutlichkeitsgrade, welcher dieser Sehweite überhaupt zukömmt, alle Punkte des kugelförmigen Raumes gesehen, welche mit dem Radius von $^1/_{28}\ a$ um den Endpunkt der Entfernung a beschrieben ist. Wir nennen daher den fraglichen Raum den Kugelbezirk gleichmässiger Deutlichkeit. Bestimmter ausgedrückt, so steht die Deutlichkeit irgend eines Punktes A dieser Kugel zu der Deutlichkeit ihres Mittelpunktes in demselben Verhältnisse wie die Deutlichkeit des homologen Punktes der Kugel des deutlichen Sehens zu der Deutlichkeit des Mittelpunktes derselben.

Ist schon der Bezirk des deutlichen Sehens nicht scharf begrenzt; so ist es noch weniger der Bezirk der gleichmässigen Deutlichkeit. Derselbe geht ganz allmählich in den Bezirk der vollständigen Undeutlichkeit über. Bezeichnet man aber ein bestimmtes Verhältniss, in welchem die Deutlichkeit der Punkte an der Peripherie zur Deutlichkeit des in irgend einer Sehweite gegebenen Zentrums stehen soll; so ist es immer eine Kugel von bestimmtem Radius, welche dieser Bedingung entspricht.

10. Bezirk des Gesammtüberblickes. Für die gewöhnlichen Erfordernisse des Sehens mit möglichst geringer Anstrengung, wobei nicht die grosse Schärfe des Erkennens der kleinsten Theile, sondern der Gesammtüberblick aller den Raum füllenden Objekte und ihr Verhältniss zueinander die Hauptsache ist, erweitert sich die Kugel sehr bedeutend über die obigen Dimensionen. Man kann den Radius dieser Kugel des Gesammtüberblickes oder des anstrengungslosen Sehens wenigstens zum Fünffachen des Radius des Bezirkes des deutlichen Sehens oder zu 50 Millimeter bei der mittleren Sehweite von 250 Mm. annehmen.

11. Kleinste wahrnehmbare Grösse. Nach §. 18 sind die Richtungen der Axen der Stäbchen ab, bc, cd (Fig. 166) die Richtungen, in welchen wir die entsprechenden Punkte des Objektes erblicken. Die Breite der Stäbchen bedingt daher, wie schon in §. 21 No. 11 bemerkt, den Minimalsehwinkel $acb = a'cb'$ eines Objektes, d. h. die kleinste wahrnehmbare Richtungsverschiedenheit. Allein

·mit ist nicht gesagt, dass durch die Breite des Stäbchens zugleich kleinste wahrnehmbare Grösse eines in gegebener Entfernung liegenden Objektes bestimmt sei. Denn wenn auch alle Richtungen des Objektes $a'b'$ (Fig. 167), dessen Netzhautbild ab den Querschnitt eines Stäbchens einnimmt, zur Axe dieses Stäbchens vollkommen parallel erschienen; so fielen dieselben doch keineswegs zusammen. Da nun das Auge nach §. 16 No. 7 und §. 21 No. 3* fähig ist, die Affektionen in viel näher liegenden Punkten zu unterscheiden; so wird es auch die Grösse des Objektes $a'b'$ als Fläche und nicht als Punkt erkennen.

ig. 166.

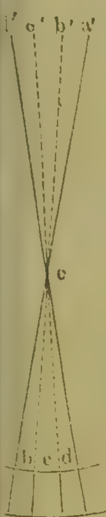
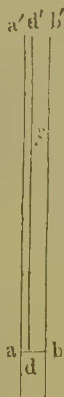


Fig. 167.



Wahrscheinlich wird ein gewisser Theil des Querschnittes eines Stäbchens die Grenze bilden, innerhalb welcher das Auge die Ortsverschiedenheit des Eindruckes nicht mehr unterscheidet. Wie gross diese Fläche sei, muss durch Versuche ermittelt werden. Jedenfalls wird dieselbe von der Intensität des Lichtes abhängen und für einen stärkeren Strahl kleiner sein, als für einen schwächeren.

§. 22.

Scheinbare Richtung.

1. Richtung, in welcher das Objekt erscheint. Unter normalen ·hältnissen wird die Axe des von einem Punkte ausgehenden und durch Linse auf der Netzhaut konzentrirten Strahlenkegels auf der Netz- ut normal stehen und die Netzhaut wird eine Kugelfläche bil- , deren Mittelpunkt zugleich der Kreuzungspunkt jener Haupt- m ist. Im Allgemeinen wird also der Radius dieser Kugel, welcher n betreffenden Punkte des Netzhautbildes entspricht, die Richtung eichnen, in welcher wir den zugehörigen äusseren Punkt erblicken.

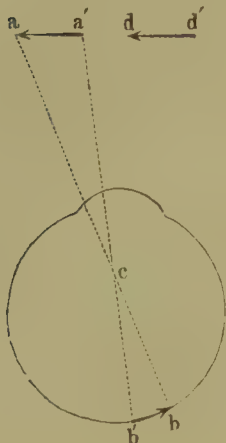
Genauer bezeichnet jedoch die Richtung des affizirten Stäb- ens der Bazillarschicht, welche fast immer, auch wenn die Netz- ut von der Kugelgestalt abweicht oder ihr Zentrum aus dem Kreuzungs- nkte der Hauptstrahlen rückt, auf der Netzhaut normal steht, die htung, in welcher uns das Objekt erscheint. Diess ist selbst dann Fall, wenn das Strahlenbündel nicht in normaler, sondern in schrä- r Richtung gegen die Netzhaut einfällt.

Ausserdem ist zu erinnern, dass streng genommen nicht der Eintritts- nkt des Hauptstrahles, sondern des wirksamsten Strahles in die tzhaut den Punkt dieser Kugelfläche oder das Stäbchen bezeichnet, ssen Richtung die scheinbare Richtung des äusseren Objektes an- bt. Für ein normal gebautes Auge muss man jedoch annehmen, dass Krümmungen und Dichtigkeiten der brechenden Medien von der Art d, dass unter normalen Umständen die innere Richtung der wirk-

samsten Strahlen der äusseren parallel sei. Ein solches Auge wir unter gewöhnlichen Verhältnissen die Richtung der nach einem Objekt führenden Linie richtig erkennen.

Aus vorstehendem Satze folgt, dass wenn bb' ein Netzhautbild is (Fig. 168), das Objekt, welches diesem Bilde physiologisch entsprich welches wir also zu sehen glauben, gefunden wir wenn man in den Punkten bb' jenes Bildes Nor malen auf der Netzhaut errichtet, also Linie zieht, welche unter gewöhnlichen Verhältnisse durch den Kreuzungspunkt c gehen. Das wahr Objekt dd' kann unter Umständen eine ganz anderen Ort einnehmen und alsdan liegt eine Täuschung über den Ort de Objektes oder über die Richtung de Sehlinien vor. Nennen wir daher die Rich tungen ba und $b'a'$, unter welchen uns die nac den äusseren Punkten führenden Linien erschei nen, welche also von den wahren abweichen kön nen, die scheinbaren Richtungen.

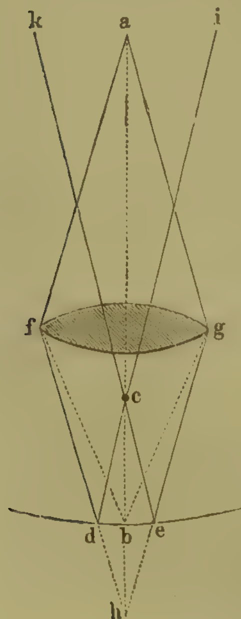
Fig. 168.



Eine experimentelle Bestätigung des vorstehen den Satzes, welchen ich übrigens schon an sich fü einleuchtend halte, werde ich durch die Erschei nungen beim Sehen durch mehrere feine Öffnun gen in §. 31 liefern.

2. Konstruktion der Zerstreuungskreise. Hier mache ich nu noch darauf aufmerksam, dass uns erst der obige Satz in den Stand bringt die Wirkung der Zerstreuungskreise, welche bei unvollkomme ner Akkommodation des Auges entstehen, zu konstruiren. Denn man frage sich, worin diese Wirkung bestehen solle, wenn jener Satz nicht be stände, welche Wirkung man alsdann dem Zu stande zuschreiben solle, dass bei einem zu nahen Objekte a (Fig. 169) das Strahlenbündel fag nicht in einem Punkte b der Netzhaut, sondern hinter der Netzhaut in h konvergirt, sodass das Netzhautbild von a ein Zerstreuungskreis de wird. Die nächste Frage ist doch: wie gross ist denn eigentlich der Kreis, als welchen wir jetzt den Punkt a erblicken? Doch wohl nicht so gross, als die Basis des abgestumpften Kegels $fdeg$: denn Diess wäre das ganze Gesichts feld. Da die Axe des von einem Strahle getroffe nen Stäbchens, also die Normale der Netz haut in dem betreffenden Punkte die Richtung angiebt, in welcher wir den leuchtenden Punkt erblicken; so glauben wir bei unvollkommener Ak kommodation, wo die Netzhaut in einer Kreisfläche getroffen wird, eine Fläche ik zu sehen, deren

Fig. 169.

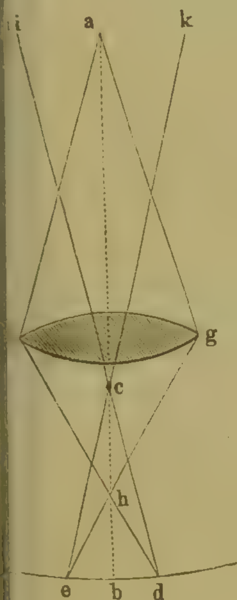


össe erhalten wird, wenn man im Umfange des Zerstreuungskreises die rmalen *eck* und *dci* auf der Netzhaut errichtet oder bei gewöhn- em Zustande des Auges Linien durch den Kreuzungspunkt *c* zieht.

Für den Fall eines zu entfernten Punktes, wo die Lichtstrahlen sich r der Netzhaut kreuzen, stellt Fig. 170 die Konstruktion dar.

3. **Bewegung der Zerstreuungskreise.** Man sieht, dass wenn Auge von einer zu nahen auf eine zu ferne Akkommodation, also von . 169 zu 170 übergeht, ein elementarer Lichtstrahl *ag*, welcher für unse- Blick das Objekt *a* links nach *k* verrückte, nunmehr das Objekt rechts verrückt und dass bei diesem Übergange eine Bewegung vor unserem Auge vor sich geht, welche einer Durchdringung aller im Zerstreuungskreise rechts vom Zentrum liegenden Punkte nach links und aller links liegenden Punkte nach rechts entspricht.

Fig. 170.



Hierbei bleibt aber die relative Lage des Punktes *a* gegen andere Objekte ganz ungeändert, indem *a* stets in dem Mittelpunkte seines Zerstreuungskreises verharrt. Eine Umkehrung des Bildes eines ausgedehnten Objektes findet also durchaus nicht statt.

4. **Abnorme Stellung der Stäbchen.** Die Stäbchen werden zwar in der Regel normal auf der Netzhautfläche stehen: es können jedoch auch Fälle vorkommen, wo Diess nicht der Fall ist. Alsdann gilt immer der unter No. 1 ausgesprochene Satz, dass die Richtung des Lichtstrahles in der Richtung der Stäbchen empfunden wird, weil Dieses stets die Richtung ist, in welcher die betreffende Nerventhätigkeit vor sich geht. Die scheinbare Richtung kann also von der wirklichen theils dadurch eichen, dass die Netzhaut sich nicht gehörig kugelförmig gestaltet r dass die Normale nicht durch den Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen , theils aber auch dadurch, dass die Stäbchen in Folge unsymmetri- r Formveränderungen der Netzhaut sich schräg gegen die Normale en.

5. **Verschmelzung des Urtheils beider Augen über die Rich- g in Beziehung zur Kopfaxe.** Wir haben schon in §. 18 und 10 ähnt, dass sich das Muskelgefühl bei der Drehung der Augen mit der ntempfindung so verschmilzt, dass wir beim Gebrauche beider Augen Objekt in derjenigen Richtung zu sehen glauben, welche von der te der Stirn nach dem Objekte gezogen wird, sobald die Augenaxen ekt auf das Objekt gerichtet sind oder das Netzhautbild des Objek- in jedem Auge auf den Pol der Netzhaut fällt.

Eben Dasselbe findet auch für jedes andere nicht direkt fixirte Ob-

jekt statt, falls nur seine Netzhautbilder auf identische Netzhautstellen fallen.

6. Scheinbare Richtung beim Gebrauche nur eines Auges. Gebraucht man nur ein Auge; so stimmt die scheinbare Richtung, welche zu dem Objekte führt, zwar nicht ganz genau mit derjenigen überein, welche sich beim Gebrauche beider Augen ergiebt: allein die Abweichung ist doch verhältnissmässig gering, insbesondere ist sie viel geringer, als dass man sie der einseitigen Thätigkeit des sehenden Auges zuschreiben könnte; denn die scheinbare Richtung ist weit entfernt, mit der Axenrichtung des sehenden Auges übereinzustimmen.

Da die scheinbare Richtung gegen die Kopfaxe lediglich durch die bei der Konvergenz der Augenaxen aufgewandte Muskelthätigkeit bedingt ist; so erläutert sich die vorstehende Erscheinung sehr leicht. Denn wenn auch ein Auge verdeckt wird; so konvergirt dasselbe doch nach dem Punkte, welcher von dem sehenden Auge fixirt wird: das Muskelgefühl ist also in beiden Fällen gleich. Nur eine geringe Abweichung findet statt, weil bei einseitigem Gebrauche des Gesichtes die Konvergenz und Akkommodation des verdeckten Auges nicht ganz vollkommen, sondern etwas schwächer ist.

Hieraus erklärt sich denn auch die Art der Abweichung der Richtung beim Gebrauche des rechten oder des linken Auges. Beim Gebrauche des rechten Auges rückt nämlich das Objekt etwas nach links und beim Gebrauche des linken Auges nach rechts. Die Abweichung wird daher am auffallendsten, wenn man nicht zwischen dem Gebrauche beider und eines Auges, sondern wenn man zwischen dem Gebrauche des rechten und des linken Auges wechselt. Schliesst man nämlich das linke Auge; so konvergirt seine Axe schwächer, dreht sich also nach links; der Blick mit dem rechten Auge allein verschiebt demnach das Objekt nach links, weil sich die Mittellinie des Dreieckes nach links dreht.

7. Stellung der Doppelbilder bei falscher Einstellung der Augenaxen. Wenn die Axe eines Auges nicht direkt auf das Objekt, sondern auf irgend einen anderen Punkt gerichtet ist; so sehen wir das Objekt in Beziehung zu dem fixirten Punkte oder vielmehr in Beziehung zu der Augenaxe links, wenn die Augenaxe nach rechts abweicht, also das Netzhautbild rechts vom Pole fällt, im umgekehrten Falle, wo die Augenaxe nach links abweicht, also das Netzhautbild links vom Pole liegt, sehen wir das Objekt rechts von jener Axe.

Gebrauchen wir nun beide Augen und konvergiren dieselben zu stark oder nach einem zu nahe liegenden Punkte; so sehen wir das Objekt nicht mehr einfach, sondern doppelt und zwar liegt das dem rechten Auge angehörige Bild rechts und das dem linken Auge angehörige Bild links.

Konvergiren dagegen die beiden Augen zu schwach oder nach einem zu weit liegenden Punkte; so liegt von den Doppelbildern das dem rechten Auge angehörige Bild links und das dem linken Auge angehörige rechts.

§. 23.

Deckung der unempfindlichen Stelle.

1. Erleuchtung der unempfindlichen Stelle. Wir haben schon in 4 No. 15 erwähnt, dass die Eintrittsstelle des Sehnerven (*macula coeca*) r das darauf fallende Licht unempfindlich ist. Gleichwohl erscheint e diesem Flecke der Netzhaut entsprechende Stelle des Gesichtsfeldes, ıch wenn man nur ein Auge gebraucht, keineswegs dunkel. Diesem mstande lege ich eine für die Einrichtung des Auges sehr wichtige Beeutung bei. Ehe ich meine Ansichten darüber vortrage, ist eine speziellre Beschreibung der hier in Betracht kommenden Erscheinungen nothendig.

Ein weisser Fleck auf schwarzem Papiere verschwindet, wenn sein ild auf die unempfindliche Netzhautstelle fällt, und das ganze Gesichtsld erscheint schwarz. Dieser Vorgang scheint allerdings dafür zu spreıen, dass auf dem Bezirke dieser Stelle gar kein Lichteindruck stattfinde nd dass die zugehörige Stelle des subjektiven Gesichtsfeldes nicht eruchtet sei.

Ein schwarzer Fleck auf weissem Papiere verschwindet aber auch nd das ganze Gesichtsfeld erscheint weiss. Überhaupt verschwindet jeer Fleck auf jeder Fläche von beliebiger Farbe, z. B. auf einer rothen, rünen, blauen Fläche, und das ganze Gesichtsfeld behält die Farbe er Fläche.

Hieraus folgt nun, dass ein auf die unempfindliche Stelle fallender ichtstrahl allerdings keinen Lichteindruck im Auge hervorbringt, ass also diese Stelle wirklich unempfindlich ist. Es folgt aber nicht araus, dass die zugehörige Stelle des subjektiven Gesichtsfeldes unereuchtet sei: im Gegentheil zeigt sich dieselbe ganz ebenso wie die mgebung erleuchtet.

2. Ansichten über die unempfindliche Stelle. Bringt man den eren Mittelpunkt der Fig. 171 zum Verschwinden; so scheinen die beiden eraden Linien sich nach Fig. 172 wirklich zu durchkreuzen. Hält man die

Fig. 171.

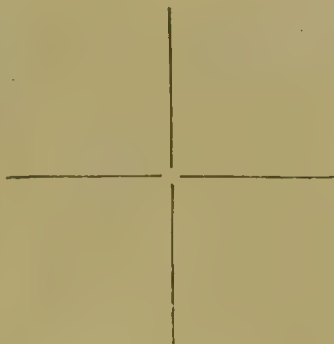


Fig. 172.



Papierfläche der beiden Kreisflächen in Fig. 173 dem Auge so nahe, dass zwar die mittelste Partie, nicht aber die ganze Figur verschwinden kann; so glaubt man ein Oval nach Fig. 174 zu erblicken.

Fig. 173. Fig. 174.



Die letzten beiden Experimente haben zu eigenthümlichen Deutungen Veranlassung gegeben. Aus Fig. 171 und 172 hat man geschlossen, dass die Ränder der Stelle des Gesichtsfeldes, welche der unempfindlichen Netzhautstelle entsprechen, *zusammenrücken* und dass bei der geistigen Vorstellung zwei diametrale Punkte jener Stelle und überhaupt der ganze *Umfang* derselben wie *ein Punkt* empfunden würde. Die physiologische Erklärung dieses Vorganges glaubte man darin zu finden, dass die einfachen Nervenfäden, welche jenem Umfange entsprächen, zusammenlägen und in einem einzigen Punkte in das Gehirn träten. Gegen diese Erklärung lässt sich sehr Vieles einwenden.

Zunächst beruht die *Voraussetzung*, dass der Umfang der festen Stelle des Gesichtsfeldes sich auf einen *Punkt* reduzire, auf einem thatsächlichen Irrthume. Diess geht aus Fig. 173 und 174, noch deutlicher aber aus folgendem Experimente hervor. Wenn man den Ring Fig. 175 etwa aus der Entfernung des deutlichen Sehens (9 bis 10 Zoll) betrachtet; so kann man den inneren, nicht aber den äusseren Kreis zum Verschwinden bringen. Geschieht Diess; so erscheint ein ganz schwarzer Fleck von der Grösse des äusseren Umfanges. Oder wenn man nicht den Mittelpunkt jenes Ringes, sondern einen andern Punkt der Ringfläche auf den Mittelpunkt der unempfindlichen Stelle fallen lässt; so sieht man nur ein Stück des Ringes nach Fig. 176, sodass das fehlende Stück der Sehne der verdeckten Stelle des Gesichtsfeldes entspricht.

Fig. 175.



Fig. 176.



3. **Erläuterndes Experiment.** Noch wesentlicher, namentlich für die weiter unten anzustellende Betrachtung, ist folgender Versuch. Sucht man den Punkt a (Fig. 177) auf die unempfindliche Stelle des rechten Auges zu bringen, indem man das Auge möglichst langsam dreht und den Moment scharf beobachtet, wo der Punkt a im Verschwinden begriffen ist; so sieht man einen in die Länge gezogenen, auf a gerichteten *Strich* b. Hierauf erblickt man beim Weiterdrehen des Auges Nichts, bis endlich der Punkt wiederum als *Strich* c ins Gesichtsfeld springt. Der Abstand

Fig. 177.



a

vischen b und c entspricht dem Durchmesser des verdunkelten Kreises es Gesichtsfeldes.

Die zwei Punkte a, b in Fig. 178 erscheinen in geeigneter Stellung gegen das Auge wie ein Strich cd von der Länge der Entfernung ab. Um diese Erscheinung zu er-ugen, muss das Blatt dem Auge so nahe gehalten werden, dass ab etwa n Grenzen der unempfindlichen Stelle entspricht.

Fig. 178.

c d a b

4. **Folgerungen.** Hiernach reduzirt sich also das der unempfind-hen Stelle entsprechende Gesichtsfeld durchaus nicht auf einen Punkt, ndern behält seine natürliche Grösse bei. Eine solche Produktion nnte auch ohne die erheblichste Verzerrung der jener Stelle nahe genden Objekte gar nicht vor sich gehen.

Ferner ist gegen die obige Hypothese zu erinnern, dass das Zusam-enfallen der Nervenfasern, welche dem Umfange der unempfindlichen elle entsprechen, im Gehirne, wie überhaupt die symmetrische oder mologe Übertragung der Netzhautpunkte mittelst dieser Fasern auf s Gehirn höchst unwahrscheinlich, ja man möchte sagen unmög-h ist.

Denn zu diesem Ende müsste man annehmen, dass die von den äbchen ausgehenden Nervenfäden nach Fig. 179 zwischeneinander

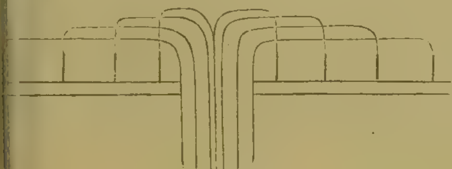


Fig. 179.

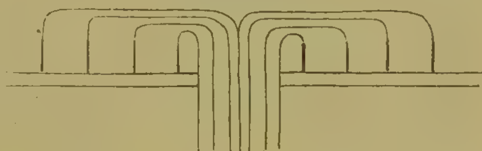


Fig. 180.

ndurch dringen, um in die Richtung des Sehnerven zu gelangen, l dass dieselben im Verlaufe des Sehnernerven bis zum Eintritte in Gehirn eine gegen die Axe des Sehnerven sich völlig gleich bleibende ge behielten oder dass Diess doch wenigstens beim Eintritte in das hirn der Fall wäre. Einestheils ist nun der Verlauf nach Fig. 180 ne solche Durchdringung viel natürlicher und weniger störend, also hrscheinlicher; anderentheils würde die Einführung der Endpunkte Fasern in das Gehirn nach einem der Vertheilung der Anfangspunkte Auge völlig gleichen Muster, gleichviel ob diese Gleichheit der Lage Zuge des Sehnerven selbst beibehalten ist oder nicht, wie schon in 3 No. 11 erwähnt, ein unnatürliches Kunststück sein, welches der Durchkreuzung der Sehnerven beider Augen im Chiasma vollends eitern müsste.

Ausserdem halte ich die Beziehung, welche zwischen der gegenseiti- Lage der Endpunkte der Nervenfibern im Gehirne und der in der zhaut besteht, insofern für unwesentlich, als meines Erachtens geistige Vorstellung von dem sichtbaren Objekte davon nicht abhän- kann.

Wie ich schon in der Schrift „Körper und Geist" ausgesprochen habe, so schreibe ich die Fähigkeit, eine Nervenempfindung in ihren Haupteigenschaften zu bestimmen, wesentlich demjenigen Organe zu, in welchem sie veranlasst wird und welches zu ihrer Empfängniss geschaffen ist. Geistige Kraft, welche bei jedem animalisch-organischen Prozesse thätig ist, wohnt in allen Theilen des Körpers, nicht bloss im Gehirne. Im Gehirne oder im Zentralsitze des Nervensystems bildet sich das Bewusstsein jenes Prozesses oder die geistige Empfindung desselben. Diess entspricht zwar einer Metamorphose der materiellen Affektion, jedoch auf Grund oder unter der Herrschaft, also im Abhängigkeitsverhältnisse von den Haupteigenschaften dieser Affektion.

Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, ist der Verlauf der einzelnen Nervenfasern und die relative Stellung ihrer Endpunkte im Gehirne etwas Unwesentliches. Von entscheidender Bedeutung für die Erkenntniss ist aber die relative Stellung der Anfangspunkte der affizirten Nervenfasern, weil in ihnen die Aussenwelt ihre Wechselwirkung mit dem Organismus vollzieht. Demgemäss kann das der unempfindlichen Stelle entsprechende Gesichtsfeld sich nicht auf einen Punkt reduziren, weil die empfindenden Punkte die Netzhaut, welche jene Stelle begrenzen, eine Fläche einschliessen.

5. Erklärung der unempfindlichen Stelle. Die Erklärung des obigen Phänomens finde ich in Folgendem.

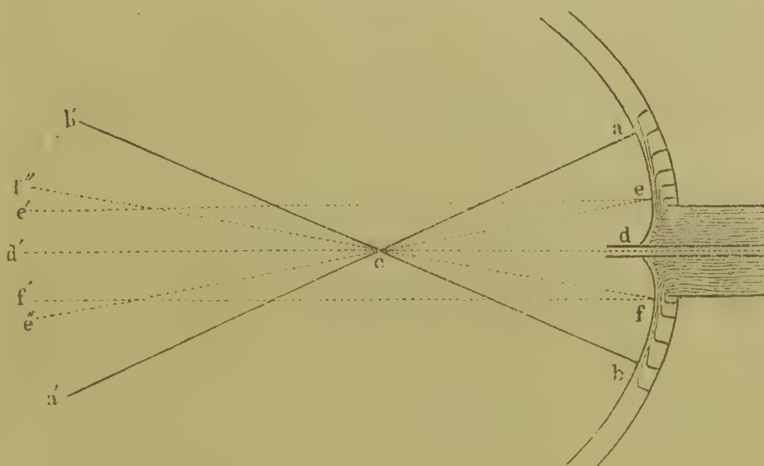
In der ganzen Fläche der Öffnung, in welcher der Sehnerv den Augapfel durchbricht, können weder Stäbchen stehen, noch kann sich darüber die zur Nervenwirkung ebenso nothwendige Aderhaut ausbreiten. Demnach ist Unempfindlichkeit jener Stelle gegen das Licht auf die ganze Weite des Querschnittes des Sehnerven eine Unvermeidlichkeit.

Die mit staunenswerther Weisheit waltende Natur weiss aber selbst die unabwendbaren Mängel durch zweckmässige Dispositionen der Nebenumstände bis auf das kleinste Maass der Störung herabzudrücken, und Diess bethätigt sich im vorliegenden Falle wirklich in bewunderungswürdiger Weise.

Die schwache Vermehrung der Krümmung der Netzhaut nahe um die Eintrittsstelle ef des Sehnerven herum, über deren Mitte sich diese Haut zu einem kleinen Hügel erhebt (Fig. 181) ist das einfache Auskunftsmittel zu diesem Zwecke. Denn wäre die Fläche ab ganz gleichförmig gekrümmt und die Mittelpartie ef unempfindlich; so würde, da nach dem vorstehenden Paragraphen der Lichteindruck normal zur Netzhaut empfunden wird, wenn man durch a, b, e, f Normalen errichtet, welche durch den Mittelpunkt c der Kugel ab gehen, der erleuchtete Ring $a'e''$, $b'f''$ des Gesichtsfeldes dem Ringe ae, bf der Netzhaut entsprechen, und die mittlere Kreisfläche $e''f''$, welche der unempfindlichen Stelle ef entspricht, wäre dunkel. Krümmt sich jedoch die Netzhaut von der Peripherie ab nach e und f zu stärker; so stellen sich die Normalen in e und f mehr parallel zu der Mittellinie dcd'. Demgemäss fällt der Punkt des Gesichtsfeldes, welcher e entspricht, über e'' hinaus nach e' und

ler, welcher f entspricht, über f'' hinaus nach f', und man erkennt, dass venngleich die Netzhautstelle ef ganz unempfindlich ist, der ihr entsprechende Theil des Gesichtsfeldes doch erhellt wird, und zwar von

Fig. 181.



emjenigen Lichte, welches auf den die Eintrittsstelle nahe mschliessenden Ring der Netzhaut fällt. Dieses Licht wird etvas mehr als das auf eine gleich grosse Fläche des übrigen Theiles er Netzhaut fallende zerstreut, und zwar in radialen Richtungen: grösser jedoch die Ringfläche ae, bf gegen die Eintrittsstelle ef ist, esto unmerklicher wird die hierdurch erzeugte Schwächung des Lichs sein.

Hierdurch erläutern sich alle obigen Erscheinungen vollständig. Es t klar, dass hiernach die fragliche Stelle des Gesichtsfeldes hell bleibt, ass sie die Farbe der Umgebung annimmt, jedoch eine geringere ntensität, namentlich in der Mitte zeigt, und dass Figuren, welche on aussen bis an den Umfang dieser Stelle herantreten, sich radial nach em Mittelpunkt hin verlaufen, jedoch dabei an Deutlichkeit einüssen.

6. Wahrscheinliche Veränderung der unempfindlichen Stelle. s ist möglich, ja sogar sehr wahrscheinlich, dass der Hügel bei d bei r Akkommodation des Auges seine Höhe und die Fläche ab ihre Krümung ändert, weil die Orts- und Formveränderungen der verschiedenen heile des Augapfels nicht in gleichem Maasse Längenveränderungen er Fasern des Sehnerven zur Folge haben werden. Hierdurch wern Variationen in dem Durchmesser der undeutlichen Kreisfläche b' des Gesichtsfeldes und namentlich in den Deutlichkeitsgraden der rschiedenen Ringe dieser Fläche eintreten, welche sich auch bemerkbar achen, wenn die Netzhaut in der Nähe der unempfindlichen Stelle mehr er weniger stark affizirt wird.

7. Bemerkung über die Wirkung der Stäbchen. Schliesslich rfte hervorzuheben sein, dass das vorstehende Ergebniss eine ersichtliche

Bestätigung der Ansicht über die Wirksamkeit der Stäbchen, namentlich über die Empfindung des Lichteindruckes in der Richtung der Axe der Stäbchen oder in normaler Richtung zur Netzhautfläche liefert.

§. 24.

Scheinbare Grösse und Entfernung.

1. Scheinbarer Sehwinkel. Wäre das Sehorgan in jeder Hinsicht vollkommen organisirt; so würden die in den vorstehenden Paragraphen beschriebenen Affektionen uns ein richtiges Urtheil über die Richtungen, Winkel, Entfernungen, Grössen und sonstigen Figuren im Raume geben. Die mit der organischen Verknüpfung und der allgemeinen Konstitution der Materie unvermeidlich verbundenen Unvollkommenheiten bewirken aber selbst unter ganz normalen äusseren Verhältnissen, dass unser Urtheil von der Wirklichkeit abweicht.

So schätzen wir die Richtung der nach einem Punkte des Raumes führenden Linie nach der Normalen, welche auf die Netzhaut in demjenigen Punkte errichtet wird, in welchem die Axe des von jenem Punkte ausgehenden Strahlenkegels oder vielmehr der wirksamste Strahl jenes Punktes auf die Netzhaut trifft. Da nun der wirksamste Strahl immer etwas von dem sogenannten Hauptstrahle abweicht, da ferner die Netzhaut niemals vollkommen kugelförmig ist, und da endlich der wirksamste Strahl eines äusseren Punktes niemals genau durch den Krümmungsmittelpunkt der Netzhaut für den Fusspunkt jenes Hauptstrahles geht; so wird die gedachte Normale immer mehr oder weniger von dem fraglichen wirksamsten Strahle und dieser auch von dem Hauptstrahle abweichen. Die scheinbare Richtung wird also der wirklichen nur mit einem gewissen, wenngleich unter normalen Verhältnissen sehr hohen Grade von Annährung entsprechen.

Da der wirkliche Sehwinkel für ein äusseres Objekt durch die äusseren Theile der wirksamsten Strahlen, der scheinbare Sehwinkel aber durch die fraglichen Normalen gebildet werden, welche in den Fusspunkten des inneren Sehwinkels errichtet sind; so bestimmt sich die Abweichung des scheinbaren Sehwinkels von dem wirklichen durch die Abweichung der scheinbaren von der wirklichen Richtung. Auch diese Abweichung ist unter normalen Verhältnissen nicht sehr gross.

Es leuchtet ein, dass der scheinbare Sehwinkel durch gar viele Umstände beeinflusst werden kann: durch den Winkel, unter welchem sich die wirksamsten Strahlen im Glaskörper fortsetzen, durch die Lage des Kreuzungspunktes oder vielmehr des hinteren Knotenpunktes, durch die Entfernung des optischen Bildes von der Netzhaut, indem das eigentliche Netzhautbild umso unbestimmter wird, je weiter das optische Bild davon abweicht, durch die Krümmung der Netzhaut und durch die Stellung der Stäbchen gegen die Netzhautfläche.

Während der scheinbare Sehwinkel erheblich variiren kann, ist der wirkliche nur abhängig von der Lage des Kreuzungspunktes oder Knotenpunktes. Wenngleich sich dieser Punkt durch die Akkommodation

twas verrücken kann; so ist der daraus entspringende Einfluss auf den virklichen Sehwinkel doch ganz unbedeutend, wenn man die namhafte frösse der Entfernung des Objektes vom Auge mit der kleinen Verschieung vergleicht, welche der Kreuzungspunkt erleiden kann. Nur für den cheinbaren Sehwinkel kann die Verschiebung des Kreuzungspunktes inen erheblichen Einfluss haben, weil dieselbe im Vergleich zu dem bstande der Netzhaut bedeutend gross werden kann. Noch mehr ber kann unter ungewöhnlichen Verhältnissen die innere Richtung der irksamsten Strahlen den scheinbaren Sehwinkel ändern.

2. Scheinbare Entfernung. Nach §. 16 beruht unser Urtheil ber die Entfernung oder Sehweite eines Punktes im Raume nicht uf der Akkommodationsanstrengung, sondern auf einer unmittelbaren sensuellen Thätigkeit der Nervensubstanz und wir haben geinden, dass dieses Urtheil zu Stande kömmt, gleichviel ob das Auge akcommodirt ist oder nicht. Gleichwohl haben wir schon dort gefunden, ass die Vollkommenheit jener Thätigkeit oder der darauf begrüneten Erkenntniss von der Vollkommenheit der Akkommodation abhängt.

Die Unvollkommenheit des Organismus betrifft auch die Akkommoation. Es ist offenbar unmöglich, dass sich das Auge bei immer weierer Annäherung des Objektes ins Unendliche verlängere. Nehen wir also an, dass sich das Auge für die mittlere Sehweite von twa 10 Zoll gut akkommodire, so leuchtet ein, dass bei abnehmender ehweite die Akkommodation immer unvollkommener sein und zwar ass das Auge sich nicht genug verlängern, also zu kurz bleiben oder uf eine zu grosse Entfernung akkommodirt sein wird. Ausserdem ird es für das Auge ein Maximum der Axenlänge also ein Minimum er Entfernung geben, unter welches es sich nicht zu akkommodiren ermag.

Umgekehrt wird bei zunehmender Entfernung des Objektes der trahlenkegel ausserhalb und innerhalb des Auges in allen seinen Theilen ur noch so ungemein wenig variiren, dass das Auge nicht mehr empfindch oder fein genug ist, um auf so kleine Unterschiede zu reagiren. Die ugenaxe wird also bei fortschreitender Entfernung des Objektes (genüende Lichtstärke vorausgesetzt) auf einem Akkommodationszustande steen bleiben, welche einer kürzeren Entfernung entspricht. Da sich diese bweichung von der Richtigkeit nur allmählich einstellen kann; so ist lar, dass das Auge für alle über der mittleren Sehweite liegenden Entrnungen eine zu lange Axe behalten, also auf eine zu kleine Enternung akkommodirt sein wird und dass es bei genügender Lichtstärke in Minimum der Axenlänge, also ein Maximum der Enfernung iebt, über welches hinaus es sich nicht gehörig zu akkommodiren vermag.

Da die Akkommodation, welche Deutlichkeit bezweckt, durch die om äusseren Lichtringe unmittelbar erregte sensuelle Nerventhätigkeit nduktorisch erweckt wird; so kann man annehmen, dass beide Thätigeiten einander gegenseitig beeinflussen. Daher wird der höhere oder iedrigere Grad der Vollkommenheit, womit die Akkommodation zu Stande ömmt, nicht bloss die Deutlichkeit der Erkenntniss (was unzweifelhaft st) sondern auch die sensuelle Thätigkeit an sich, worauf die Er-

kenntniss der Entfernung beruht, dergestalt beeinflussen, dass die scheinbare Entfernung von der dem Normalzustande der Thätigkeit entsprechenden wirklichen Entfernung abweicht.

Das zu nahe akkommodirte Auge wird also die Entfernung für zu klein und das zu weit akkommodirte für zu gross halten.

Die Annahme, auf welcher dieser Schluss beruht, stützt sich allerdings nur auf allgemeine Wahrscheinlichkeitsgründe und Analogien; es ist daher wünschenswerth, theils zur Bekräftigung dieser speziellen Thatsache, theils zur Begründung der allgemeinen Annahme, dass die durch Induktion zwischen den verschiedenen Sehthätigkeiten bestehende Beziehung die einzelnen Thätigkeiten harmonisch beeinflusst, einen näheren Nachweis für jene Annahme zu liefern.

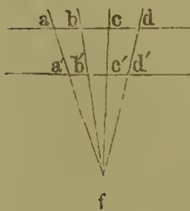
3. Abweichung der wirklichen Akkommodation von der richtigen. Zu vorstehendem Zwecke heben wir zunächst das Faktum hervor, dass die wirkliche Akkommodation nur dann die richtige ist, wenn das Objekt in der mittleren Sehweite vor uns liegt und die mittlere Helligkeit besitzt. Auf die entfernteren Objekte ist das Auge zu nahe und auf die näheren ist es zu weit akkommodirt, selbst wenn es diese Objekte scharf zu fixiren trachtet. Die Ursachen dieser Abweichung sind bereits in §. 17 No. 6 erläutert.

Bestätigt sich also der in vorstehender Nummer angekündigte Satz, dass das zu nahe akkommodirte Auge die Entfernung für zu klein und das zu weit akkommodirte die Entfernung für zu gross hält; so müssen uns alle jenseit der mittleren Sehweite liegenden Objekte (weil das Auge darauf zu kurz akkommodirt ist) zu nahe und die diesseit der mittleren Sehweite liegenden (weil das Auge darauf zu weit akkommodirt ist) zu entfernt erscheinen.

4. Vollkommenste Erkenntniss bei vollkommenster Akkommodation. Wir gehen jetzt dazu über, zu zeigen, dass die Erkenntniss der Entfernung bei vollkommenster Akkommodation am vollkommensten ist.

Zu dem Ende sei in Fig. 182 f der Konvergenzpunkt eines Strahlenkegels und es stellen afb, bfc, cfd benachbarte Kegelelemente dar, welche den Konvergenzwinkel $afb = bfc = cfd = \beta$ bilden, dessen Basis nach §. 16 die elementare Einheit der Nerventhätigkeit $ab = bc = cd = c$ für die Stellung der Netzhaut in ad ist. Die möglichste Schärfe in der Erkenntniss des elementaren Bündels afb bedingt ohne Frage, dass die Fläche ab nicht die in §. 21 No. 11 bezeichnete Minimalfläche überschreite, innerhalb welcher der Lichteindruck als auf einen Punkt konzentrirt erscheint. Ist ab grösser, also so gross, dass das Auge die Empfindungen in den einzelnen Punkten dieser Fläche unterscheidet oder dieselbe nicht mehr als einfachen Punkt erkennt; so muss die Reinheit der Erkenntniss vermöge der gegenseitigen Durchdringung der als gesondert sich geltend machenden Thätigkeiten leiden. Ausserdem ist aber klar, und

Fig. 182.



iess ist wohl das Wesentlichste, dass der Querschnitt c der elementaren erventhätigkeit, welcher nach §. 16 No. 8 für den Stand der Netzhaut f den Werth null hat, sich mit der Entfernung der Netzhaut von f ergrössert, dass diese Vergrösserung auf der Veränderung gewisser pannungen beruht, dass aber das einfache Gesetz der Veränderung ieser Spannungen mit der Längenveränderung der Augenaxe offenbar ur so lange in aller Schärfe stattfinden kann, als die Netzhaut sich icht zu weit vom Punkte f und auch nicht zu weit von ihrer Ruhege entfernt. Die höchste Genauigkeit der Erkenntniss wird also stattnden, wenn die Netzhaut im Konvergenzpunkte f steht oder wenn das uge akkommodirt ist.

5. Abhängigkeit der scheinbaren Entfernung von der Akkomodation. Es fragt sich jetzt, in welcher Weise die Erkenntniss urch mangelhafte Akkommodation beeinflusst wird. Mit dem Vorschreien der Netzhaut von f nach ad ist eine Ermässigung der Spannung, it dem Zurückschreiten nach $a'd'$ eine Erhöhung der Spannung erbunden. Hieraus lässt sich vermuthen, dass die Beeinflussung der rösse c im entgegengesetzten Sinne stattfindet, jenachdem die Netzaut vor- oder zurückrückt. Die Ermässigung der Spannungen beim orschreiten wird eine Vergrösserung und die Erhöhung der Spannunen beim Zurückschreiten eine Verkleinerung von c zur Folge haben. enachdem aber in dem Ausdruck $\beta = \frac{c}{b}$, welcher nach §. 16 No. 7 as physiologische Maass für die Entfernung darstellt, die Grösse c rösser oder kleiner wird, erscheint die Entfernung vergrössert der verkleinert.

Nun entspricht ein Vorrücken der Netzhaut einer Akkommodation auf u grosse und ein Zurückziehen derselben einer Akkommodation auf zu leine Entfernung. Wir sehen also, dass dem zu weit akkommodirten uge das Objekt zu entfernt und dem zu nahe akkommodiruge zu nahe erscheint.

Da das Auge auf die sehr entfernten Objekte, selbst wenn es sich chtig zu akkommodiren sucht, doch immer zu nahe akkommodirt ist; erscheinen ihm diese Objekte stets zu nahe, und da dasselbe auf die ehr nahen Objekte stets zu entfernt akkommodirt ist; so erscheinen m diese zu entfernt.

Übrigens ist diese in der Unvollkommenheit des Auges liegende bweichung der scheinbaren Entfernung von der wirklichen sehr nbedeutend, solange der Akkommodationszustand des Auges sich nicht heblich von dem richtigen entfernt. Erst bei sehr erheblich falcher Akkommodation steigert sich diese Abweichung und dieselbe steiert sich auch in höherm Grade, wenn das Auge zu nahe, als wenn es u enfernt akkommodirt ist, weil die im ersteren Falle mit der Verngerung der Augenaxe verbundene Erhöhung der Spannung weit eher us den Grenzen des einfachen Elastizitätsgesetzes hinaustritt, als die im tzteren Falle mit der Verkürzung der Augenaxe verbundene Ermässigung er Spannung, welche doch niemals tiefer sinken kann, als es der Ruhege der Netzhaut entspricht. Demgemäss erscheinen uns beim

Blicke in grosse Ferne die nahen Objekte weit weniger hinweggerückt, als uns beim Blicke in äusserste Nähe (von vielleicht 1 Zoll) die entfernten Objekte genähert erscheinen.

Auf Objekte, welche in der mittleren Sehweite von etwa 250 Millimeter liegen, akkommodirt sich das Auge am genauesten und daher erkennen wir die Entfernung dieser Objekte am richtigsten.

Die scheinbare Entfernung, welche durch falsche Akkommodation hervorgebracht wird, erreicht bei weitem nicht den Werth derjenigen Entfernung, für welche diese falsche Akkommodation eine richtige sein würde.

6. Wirkung der Tendenz zur Akkommodation. Da die mit jeder Akkommodationsbewegung verbundene Veränderung der scheinbaren Entfernung aus dem Einflusse entspringt, welchen jene Bewegung auf die Spannungen in der Netzhaut und demzufolge auf den Werth der elementaren Nerveneinheit c ausübt; so folgt, dass eine solche Änderung des Urtheils über die Enfernung schon dann eintreten muss, wenn die fragliche Akkommodationsbewegung nicht wirklich erfolgt, sondern nur die Tendenz dazu erweckt wird, indem diese Tendenz einen ähnlichen, wenngleich etwas schwächeren Einfluss auf die fraglichen Spannungen ausübt. Wir haben diese Ansicht schon in §. 16 No. 9 angedeutet, konnten sie jedoch jetzt erst begründen.

7. Allgemeines Resultat über die Beeinflussung der scheinbaren Entfernung durch die Akkommodationsakte und die Tendenzen dazu. Hieraus und aus dem Früheren ergeben sich nun folgende drei wichtigen Sätze, wobei wir daran erinnern, dass die einzelnen zur Akkommodation und richtigen Einstellung der Augen gehörigen Akte einander induktorisch beeinflussen.

1. Indem das Auge irgend eine Formveränderung erleidet, welche ein Zubehör oder Begleiter der Akkommodation auf eine kleinere Sehweite ist, also indem die Augenaxe sich verlängert oder die Linse sich stärker wölbt, oder sich verdichtet, oder die Pupille sich verengt oder beide Augenaxen stärker konvergiren, scheint sich die Entfernung des Objektes zu verkürzen, wogegen sie im umgekehrten Falle sich zu verlängern scheint.

2. Das Nämliche findet, wenn auch in schwächerem Grade schon dann statt, wenn die Tendenz zu einer solchen Formveränderung entsteht.

3. Diese Veränderung der scheinbaren Entfernung ist nicht für alle Netzhautpunkte gleich, sondern für jeden Punkt oder das entsprechende Objekt von der Formveränderung oder der Tendenz abhängig, welche sich in diesem Punkte, respektive in dem betreffenden Durchmesser des Auges äussert.

8. Erhöhung des stereoskopischen Eindruckes beim Sehen mit zwei Augen. Aus Vorstehendem ergiebt sich auch ein spezieller Grund für die grössere Vollkommenheit des stereoskopischen Eindruckes beim Sehen mit beiden Augen.

Handelt es sich bloss um die Erkenntniss der Entfernung eines einzigen Punktes; so würde der Gebrauch *beider* Augen schon deshalb günstiger sein als der Gebrauch nur *eines* Auges, weil in dem Falle, wo beide Augen gebraucht werden, ihre Axen auf das Objekt konvergiren, die Netzhautbilder auf beide Augenpole fallen und jedes Auge sich am *vollkommensten akkommodirt.*

Wenn sich aber der Blick in einen *Gesichtsraum* richtet, welcher mit verschieden entfernten Objekten erfüllt ist; so wissen wir, dass die Bilder dieser Objekte *nicht auf korrespondirende Netzhautstellen* fallen können. Bei der Affektion differenter Netzhautstellen wird nun allerdings in Bezug auf allgemeine Deutlichkeit und Einfachheit der Erscheinung nicht der höchste Grad von Vollkommenheit erreicht: allein die bestehende *Tendenz* zur Akkommodation des ganzen Gesichtsorganes überwiegt, wie wir schon in §. 12 No. 8 und §. 16 No. 5 und 9 angeführt haben, diese Nachtheile und erhöht sogar in einer Hinsicht den stereoskopischen Effekt. Angenommen, die Strahlenkegel eines Objektes B convergiren genau auf der Netzhaut, beide Augen seien also für die Entfernung dieses Objektes akkommodirt und ihre Axen konvergiren auf einen in dieser Entfernung liegenden Punkt, die Bilder von B fallen mithin auf korrespondirende Netzhautstellen. Ist A ein *näheres* Objekt; so werden dessen Bilder nicht auf korrespondirende Netzhautstellen, sondern *nach aussen* fallen. Ist C ein *entfernteres* Objekt; so werden dessen Bilder ebenfalls keine korrespondirenden Netzhautstellen einnehmen, aber *nach innen* fallen.

Das Objekt A ruft nun die Tendenz hervor, die beiden Augenaxen *stärker gegeneinander zu neigen*, oder die Lichteindrücke von den beiden affizirten Stäbchen auf *zwei korrespondirende* zu verschieben. Diese Tendenz ist nach der vorhergehenden Nummer hinreichend, um das Urtheil über die Entfernung des Objektes A so zu verändern, dass uns dieses Objekt *näher* erscheint. Wegen der unvollkommenen Akkommodation erscheint uns nach No. 5 das Objekt A, wenn wir dasselbe mit *einem* Auge betrachten, *nicht nahe genug oder zu weit*; wenn wir dasselbe aber mit *beiden* Augen betrachten, wird dieser Fehler nach Vorstehendem *gemildert*; es erscheint uns *näher*, wenngleich immer noch nicht *in richtiger Nähe.*

Das Objekt C wirkt, wie leicht zu erachten, in umgekehrtem Sinne. Dasselbe wird durch die Tendenz zur Verminderung der Konvergenz der Augenaxen *weiter hinweg gerückt*, erscheint uns also *entfernter*, um so mehr in der richtigen Entfernung, als beim Gebrauche nur *eines Auges*, wo es uns *zu nahe* erscheint.

In Beziehung auf die Erhöhung des stereoskopischen Eindruckes beim Gebrauche beider Augen sind noch §. 12 No. 8 und §. 16 No. 5 und 9 zu vergleichen.

9. Relative Entfernung. Die *absolute Grösse* der Entfernung darf übrigens nicht mit der *relativen Entfernung* verwechselt werden, welche ein Objekt im Vergleich zu anderen Objekten einnimmt. Sobald diese Vergleichung mit mehreren gleichzeitig in unse-

rem Gesichtsfelde liegenden Objekten eintritt, hat man noch Folgendes zu beachten.

Indem sich das Auge zu nahe akkommodirt, verkleinert sich allerdings nach Vorstehendem die Entfernung scheinbar. Wenn wir nun diese falsche Akkommodation auf das Objekt A dadurch hervorbringen, dass wir ein anderes, näher liegendes Objekt B fixiren, also diesem zweiten Objekte unsere Aufmerksamkeit zuwenden; so ist das Zurückziehen der Netzhaut hinter das optische Bild von A, vom Objekte B aus betrachtet, auch ein Vorgehen des optischen Bildes von A vor die Netzhaut. Diese Veränderung entspricht einer scheinbaren Entfernung des Objektes A vom Auge.

Dieser Effekt lässt sich dahin ausdrücken, dass sich das Objekt A vom Objekte B zu entfernen scheint, wenn wir das Auge von A auf B richten.

Diese relative Ortsveränderung schmälert zwar den vorher genannten Effekt, hebt denselben aber keineswegs auf. Bei der Akkommodation auf das nähere Objekt B wird die absolute Entfernung von A kleiner, die von B aber ebenfalls und zwar in stärkerem Maasse als die von A, sodass die relative Entfernung zwischen A und B wächst.

Einer genauen Beobachtung entgehen die vorstehend erwähnten beiden einander entgegenstehenden Effekte einer falschen Akkommodation nicht. Wenn sich das Auge zu nahe akkommodirt, indem dasselbe z. B. angesichts einer Landschaft einen dicht vor das Gesicht gehaltenen Gegenstand fixirt, um eine möglichst starke Wirkung hervorzubringen, so verkleinert sich in Folge der gesteigerten Akkommodationsanstrengung der gesammte Gesichtsraum mit jedem darin enthaltenen Objekte und jeder Entfernung, und dieser Effekt ist ganz derselbe, als ob bei objektiv unverändertem Gesichtsraume unser subjektiver Maassstab sich vergrösserte, welchen wir bei der Quantitäts- oder eigentlichen Grössenbestimmung anwenden. In Folge der von einem vorhin fixirten Objekte bei der falschen Akkommodation sich bildenden Zerstreuungskreise mit vor die Netzhaut fallendem Konvergenzpunkte scheint sich aber gleichzeitig dieses Objekt weiter zu entfernen. Der Gesammteffekt ist also derselbe, wie wenn die Objekte weiter rücken, während unser subjektiver Maassstab für die Entfernungen sich vergrössert. Wir müssen also immer annehmen, oder es muss der Schein entstehen, dass das Objekt, auf welches wir das Auge zu nahe akkommodiren, sich faktisch weiter von uns entferne, wenngleich wir diese Entfernung mit einem zu grossen Maassstabe messen.

10. Scheinbare Grösse. Nach §. 18 hängt unser Urtheil über die einem Sehwinkel α bei der Entfernung a entsprechende Bogengrösse αa direkt von der sensuellen Affektion der Netzhaut ab und entspricht dem Produkte αa. Alles was das Urtheil über den Sehwinkel oder über die Entfernung ändert, ändert mithin auch das Urtheil über die Grösse. Die scheinbare Grösse entspricht dem Produkte $\alpha' a'$ aus dem scheinbaren Sehwinkel α' und der scheinbaren Entfernung a'.

Wäre unser Auge vollkommen gebaut, so bestände weder zwischen ›m scheinbaren und dem wirklichen Sehwinkel, noch zwischen der schein- ıren und der wirklichen Entfernung ein Unterschied und es wäre als- ınn auch die scheinbare Grösse der wirklichen gleich. In Betracht dass h bei der Veränderung der Entfernung eines Objektes der Sehwinkel umgekehrtem Verhältnisse mit der Entfernung ändert, sodass für das- lbe Objekt das Produkt αa stets gleich bleibt, würde denn auch, wie reits in §. 18 No. 8 erwähnt, einem vollkommen organisirten Auge ınunddasselbe Objekt aus jeder Entfernung gleich gross er- heinen.

Die wesentlichste Unvollkommenheit des Organismus ist die Unfähig- iit zur richtigen Akkommodation auf die verschiedenen Entfernungen. eraus entspringt nach No. 5 eine Abweichung der scheinbaren Ent- rnung von der wirklichen und nur diese Unvollkommenheit der kkommodation ist es, welche uns dasselbe Objekt aus verschie- nen Entfernungen verschieden gross erscheinen lässt.

Ich bitte den Leser, den vorstehenden Satz, welcher den bisherigen ısichten widerstreitet, in seiner ganzen Schärfe aufzufassen. Ich be- upte damit ohne allen Rückhalt, dass ein Gegenstand uns nicht kleiner scheint, wenn er sich von uns entfernt, und nicht grösser, wenn er sich s nähert, sondern stets gleich gross, vorausgesetzt nur, dass sich s Auge stets vollkommen auf ihn akkommodire.

Eine möglichst vollkommene Akkommodation findet aber nur für e bestimmte Helligkeit, Farbe, Grösse und Entfernung statt. Diese solut günstigste Entfernung, welcher auch eine bestimmte Helligkeit, rbe und Grösse des Objektes angehört, ist die mittlere Sehweite. r jede andere Helligkeit, Farbe oder Grösse ist auch die günstigste ıtfernung eine etwas andere: es ist aber damit der absolut gün- gste Akkommodationszustand nicht mehr erreichbar.

Es entsteht nun die Frage, welchen Effekt in Beziehung auf die ıeinbare Grösse eine falsche Akkommodation auf die Ent- nung hat.

Wenn sich das Objekt auf die doppelte Entfernung entfernt, sodass ın $2a$ übergeht, sinkt der Sehwinkel α auf die Hälfte, also $\frac{\alpha}{2}$ herab. Akkommodation hält aber mit der Vergrösserung der Entfernung ht Schritt, das Auge akkommodirt sich zu nahe, also auf eine Entfer- ıg a', welche kleiner als $2a$ ist. Demgemäss ist die scheinbare össe des doppelt so entfernten Objektes $\alpha' a' = \frac{\alpha}{2} \cdot a'$ kleiner als αa: s Objekt erscheint also zu klein. Wenn sich umgekehrt das un- der mittleren Sehweite liegende Objekt auf die halbe Entfernung $\frac{\alpha}{2}$ ıert, steigt der Sehwinkel auf das Doppelte 2α: das Auge akkommodirt aber auf eine zu grosse Entfernung $a' > \frac{\alpha}{2}$, die scheinbare Grösse $' = 2\alpha . a'$ ist also grösser als αa, das Objekt erscheint mithin gross.

Die sehr nahen Objekte, auf welche das Auge zu weit akkommodirt ist, erscheinen demgemäss zu gross und die sehr entfernten Objekte, auf welche das Auge zu nahe akkommodirt ist, erscheinen zu klein.

Diese Variation der scheinbaren Grösse wird dadurch ein wenig verstärkt, dass das Netzhautbild bei demselben Sehwinkel in dem näher akkommodirten Auge, dessen Axe also länger ist, etwas grösser ist, als in dem weiter akkommodirten Auge. Demzufolge müssen uns die näheren Objekte etwas grösser erscheinen, als es ohne diesen Einfluss der Fall sein würde.

Mit Rücksicht auf die veränderliche Länge der Augenaxe kann man daher sagen, dass wenn r der Abstand des Kreuzungspunktes der Hauptstrahlen von der Netzhaut, also αr der Grösse des Netzhautbildes proportional ist, das Urtheil über die Grösse des Objektes nahezu durch das Produkt $\alpha r a$ aus der Grösse des Netzhautbildes und der Sehweite a dargestellt ist. Übrigens haben wir zu beachten, dass bei der Verlängerung der Augenaxe oder der Vergrösserung des Radius r, wenngleich damit eine Zusammenziehung des Auges in normaler Richtung der Axe verbunden ist, doch immer eine gewisse Ausdehnung der Netzhaut in der Nähe des Poles stattfindet. In Folge dessen rücken die Axen der elastischen Stäbchen und die Spitzen der sich daran schliessenden Nervenfasern auseinander und wenn die Ausdehnung der Netzhaut der Verlängerung von r genau proportional wäre, würden gar keine neuen Netzhautelemente in das vergrösserte Bild eintreten, also auch keine scheinbare Vergrösserung erzeugen, sodass alsdann die scheinbare Grösse nicht durch das Produkt $\alpha r a$, sondern einfach durch das Produkt αa gemessen würde. In Wirklichkeit wird daher das Maass der scheinbaren Grösse, wenn r_1 den konstanten mittleren Radius der Netzhautkrümmung darstellt, zwischen $\alpha r_1 a$ und $\alpha r a$ liegen.

In diesen Formeln bezieht sich α streng genommen auf den inneren Sehwinkel. Ich muss nun noch die Bemerkung hinzufügen, dass der innere Sehwinkel unter normalen Verhältnissen dem äusseren Sehwinkel proportional bleibt, wenn auch die Sehweite sich ändert, dass jedoch diese Normalität der Akkommodation bei immer kleiner werdender Sehweite nicht aufrecht erhalten werden wird, dass also auch jene Proportionalität sich mit der Sehweite etwas ändern wird. Es ist nun möglich und wahrscheinlich, dass das Verhältniss des inneren Sehwinkels zum äusseren sich mit der Annäherung des Objektes, nämlich mit der Verstärkung der Wölbung der Linse etwas verstärkt (vgl. §. 8 No. 17), sodass auch hiermit eine scheinbare Vergrösserung des Objektes verbunden ist.

11. Scheinbare Grösse desselben Objektes in mässigen Entfernungen. Wenn ein Gegenstand von bestimmter Helligkeit sich immer weiter von uns entfernt; so würde in einem ganz vollkommenen Auge die Verkleinerung des Sehwinkels durch die Verminderung der Akkommodationsanstrengung auf die grössere Sehweite vollständig ausgeglichen werden und demzufolge der Gegenstand uns fortwährend in seiner absoluten Grösse erscheinen. Die Veränderung des Sehwinkels nimmt

ren, durch die Unvollkommenheit des Auges nur sehr unwesentlich estörten Verlauf: die Akkommodation weicht jedoch immer mehr von r richtigen ab, je mehr sich die Entfernung von der mittleren Seheite entfernt.

Hiernach wird jedes Objekt, indem es sich vom Auge entrnt, kleiner zu werden, und indem es sich dem Auge nähert, rösser zu werden scheinen.

Im Ganzen genommen ist diese scheinbare Grössenveränderung geng, solange sich das Objekt in mässigen Entfernungen befindet. nerhalb gewisser Grenzen erscheint uns daher trotz der vorstehenden nvollkommenheit irgend ein Gegenstand, ein Mensch, ein Baum, n Stuhl nahezu stets von derselben, der Wirklichkeit entrechenden Grösse.

Im Vorstehenden findet die im §. 1 No. 3 erwähnte Erscheinung ihre klärung.

12. Scheinbare Grösse absolut grosser und kleiner Objekte. ne zweite Folgerung aus Vorstehendem ist diese. Ein kleiner Genstand erscheint uns stets klein, auch wenn wir ihn ganz in r Nähe sehen, ein grosser Gegenstand dagegen stets gross, ch wenn wir ihn in der Ferne sehen, vorausgesetzt, dass hierbei Grenzen des deutlichen Sehens nicht zu weit überschritten werden.

Die Dicke unseres Zeigefingers genügt in der Entfernung eines lles vom Auge, um einen Baum von 100 Fuss Höhe in der Entfernung n 200 Fuss zu verdecken. Der Sehwinkel ist also für jene Fingerdicke d für den Baum ganz gleich. Gleichwohl erscheint uns der Finger dieser Nähe noch in seiner natürlichen Kleinheit, der Baum dagegen in ner natürlichen Mächtigkeit.

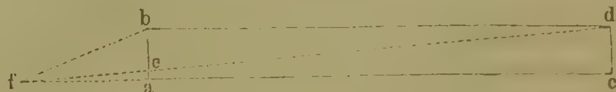
Man darf nicht wähnen, diese Thatsache beruhe insofern auf einer lbsttsäuschung, als sich an den Finger die ideelle Vorstellung eines einen und an den Baum die eines grossen Gegenstandes knüpfe, sodass r etwa eine auf Erfahrung oder Gewohnheit gestützte Geistesthätigkeit e indirekte Rolle spiele. Dasselbe Resultat ergiebt sich auch, wenn man den Vergleichsobjekten zwei Stücke von ganz gleichartigem, bedeutungsem Stoffe wählt, z. B. zu dem nahen Objekte einen sehr schmalen und dem entfernten Streifen einen sehr breiten Streifen Papier.

Eine augenfällige Bestätigung der vorstehenden Ansicht habe ich bets in §. 16 No. 4 bei den gewöhnlichen stereoskopischen Photographien geführt. Obgleich durch diese Bilder die Objekte in demselben Verhälts dem Auge genähert werden, wie sie verkleinert sind, obgleich o der Sehwinkel der natürliche bleibt; so gewähren dieselben doch n unverkennbaren Eindruck kleiner, in die Nähe gerückter Figuren.

13. Versuch. Um den subjektiven Effekt der Entfernung durch Zahlenbeispiel anschaulich zu machen; so erscheint mir ein Objekt n 4 Zoll Höhe, z. B. das vordere Ende ab eines 4 Zoll hohen Gesimseifens (Fig.183 a.f.S) aus der Entfernung von $fa = 6$ Zoll gesehen etwa der natürlichen Grösse ab. In einer Entfernung von $fc = 35$ Fuss, lche das 70fache jener Höhe beträgt, müsste nun dasselbe Objekt cd

oder das hintere Ende eines 35 Fuss langen Streifens in der Höhe *a* erscheinen, welche den 70sten Theil von der Höhe des Streifens, also nur 3/ Linien beträgt, wenn die scheinbare Grösse lediglich vom Seh-

Fig. 183.



winkel *dfc* abhinge. In Wirklichkeit erscheint meinem Auge aber das Objekt *cd* in 70facher Entfernung etwa noch 3 Zoll hoch, also noch in der Höhe von drei Vierteln der wirklichen Grösse. Das Objekt erscheint mithin in dieser relativ erheblichen Entfernung nur wenig verkleinert und etwa $^3/_4 . 70 = 50$mal so gross, als man nach dem Sehwinkel zu schliessen versucht ist.

14. Gesetz der Veränderung der scheinbaren Grösse mit zunehmender Entfernung. In der normalen oder günstigsten Sehweite sehen wir also einen Gegenstand in der richtigen Grösse. Eine mässige Veränderung dieser Entfernung ändert nur wenig an der scheinbaren Grösse. Wächst die Entfernung; so akkommodirt sich nach Vorstehendem das Auge zu nahe, und demzufolge erscheint uns das Objekt zu klein. Gleichzeitig findet zwar auch eine Beeinflussung des scheinbaren Sehwinkels statt: allein die Unrichtigkeit in der Akkommodation auf die Entfernung überwiegt bei weitem die in dem scheinbaren Sehwinkel, namentlich wenn die Entfernung erst erheblich geworden ist: das Gesetz, nach welchem sich die scheinbare Grösse eines Objektes mit der Entfernung ändert, ist also nahezu dasselbe, welches aus der Veränderung der der falschen Akommodation entsprechenden Entfernung unter Berücksichtigung der Veränderung des wirklichen Sehwinkels hervorgeht.

Setzen wir daher den wirklichen Sehwinkel für den scheinbaren; so wird bei zunehmender Entfernung des Objektes eine scheinbare Verkleinerung desselben stattfinden, welche anfangs unbedeutend ist, weil bis zu einer gewissen Grenze die Abweichung der falschen Akkommodation von der richtigen noch gering ist. Diese Verkleinerung wächst immer mehr und mehr. Bei grossen Entfernungen bleibt nun der Akkommodationszustand nahezu konstant: die Verkleinerung geht also dann im Verhältniss der Abnahme des wirklichen Sehwinkels vor sich.

Die gewöhnliche Annahme, dass die scheinbare Grösse eines Objektes durch den Sehwinkel gemessen werde, findet hiernach nur bei relativ grossen Entfernungen, nicht aber in den Entfernungen des deutlichen Sehens statt. Für absolut kleine Objekte tritt dieses Gesetz früher ein, als bei absolut grossen, weil für jene die Fähigkeit des Auges, sich auf die Entfernung richtig zu akkommodiren, früher erlischt.

15. Äusserste Grenze der scheinbaren Entfernung. Nach §. 16 No. 8 hat die elementare Einheit c' der Nervenwirkung im Zäh-

[de]r des Ausdruckes $\beta = \frac{c'}{b'}$, auf welchem die Erkenntniss der Entfernung [b]eruht, den Werth $c' = c\left(\frac{ae}{560} - 1\right)$, wenn die Netzhaut um den Ab[st]and e hinter die Spitze des Strahlenkegels verschoben ist. Der Ab[st]and b' dieser Spitze von der Netzhaut ist $= e - b = e - \frac{560}{a}$, sodass [di]e scheinbare Entfernung durch die Grösse

$$\frac{c\left(\frac{ae}{560} - 1\right)}{e - \frac{560}{a}}$$

[au]sgedrückt ist. Je grösser die wirkliche Entfernung a wird, desto mehr [nä]hert sich die Nerveneinheit dem Werthe $\frac{ae}{560}\,c$, welcher mit a ins [U]nendliche wächst, sofern nicht $e = 0$ oder das Auge absolut voll[k]ommen akkommodirt ist; der Nenner nähert sich immer mehr der [G]rösse e, die scheinbare Entfernung also dem Werthe $\frac{ac}{560}$.

Nun ist es offenbar unmöglich, dass das Auge so vollkommen organisirt [se]i, um bei dem fortgesetzten Wachsthume der Flächeneinheit c' [se]ine gesetzlichen Funktionen zu verrichten. Die Erweiterung der elemen[ta]ren Flächeneinheit c' hat ihre Grenze; wäre dieselbe durch c'' darge[st]ellt; so drückte $\frac{c''}{e}$ die grösste Entfernung aus, wovon eine Vorstel[lu]ng in unserem Auge durch irgend ein noch so entferntes Objekt hervor[ge]rufen werden kann. Diese Grenze c'' der Empfindung wird in aller [St]renge erst durch ein unendlich entferntes Objekt oder für $a = \infty$ [er]reicht; bei Objekten, welche aus endlicher, aber doch sehr gros[se]r Ferne wirken, wird c'' kleiner als dieser Grenzwerth, also überhaupt [kl]einer, als der richtige Werth c' sein, d. h. bei fortschreitender [E]ntfernung wird die scheinbare Enfernung immer kleiner sein [al]s die wirkliche, sich aber einer bestimmten Grenze nähern.

Das vorstehende Resultat ist in seiner Allgemeinheit von der [A]kkommodation oder von der Grösse e ganz unabhängig; nur der [ab]solute Werth von c'' und demgemäss der absolute Werth der schein[ba]ren Grenzentfernung $\frac{c''}{e}$ ist durch e oder durch den Grad der [U]nvollkommenheit der Akkommodation bedingt, was sehr natür[lic]h ist.

Es ist jedoch wichtig hervorzuheben, dass wenngleich es prinzipiell [ei]ne Grenze der scheinbaren Entfernung geben muss, wie gross auch der [A]kkommodationsfehler e sein möge, dieses Resultat doch immer von der [Vo]raussetzung ausgeht, dass überhaupt unvollkommene Akkommo[da]tion stattfinde oder dass e einen von null verschiedenen Werth habe. [W]äre die Akkommodation absolut vollkommen oder $e = 0$; so würde

der obige Schluss seine Strenge verlieren, weil alsdann die Einheit $c' = c\left(\frac{ae}{560} - 1\right)$ oder $c\left(1 - \frac{ae}{560}\right) = c$, also endlich und demnach die scheinbare Entfernung gleich $\frac{ac}{560}$, folglich proportional der wirklichen Entfernung bleiben würde.

Nun haben wir in No. 5 gesehen, dass es wegen der Unvollkommenheit des Auges, d. h. weil seine Empfindlichkeit eine Grenze hat, unmöglich ist, dass die Netzhaut durch die Einwirkung eines unendlich entfernten leuchtenden Punktes oder eines parallelen Strahlenbündels den entgegenstehenden Widerstand so vollständig besiegte, um ganz genau in den Brennpunkt solcher Strahlen zu rücken. Weil also die Akkommodationsfähigkeit für die oberhalb der mittleren Sehweite liegenden Entfernungen unvollkommen ist und der Fehler e mit der Entfernung a wächst und für eine unendliche Entfernung eine Grenze erreicht, so hat auch die scheinbare Entfernung eine bestimmte Grenze: allein die Unvollkommenheit der Akkommodation spielt bei der Begrenzung der scheinbaren Entfernung doch nicht die Rolle einer direkten, sondern nur die einer zufälligen Ursache, indem sie verhindert, dass die Einheit c' der Nervenwirkung auf einen endlichen Betrag herabsinken kann.

Hiernach ist auch zwischen der Grenze der scheinbaren Entfernung und der Grenze der Akkommodation wohl zu unterscheiden. Für eine jede gegebene Lichtintensität wird bei grossen Entfernungen von mehr als $1/4$ Meile mit zunehmender Entfernung a die Akkommodationsgrenze verhältnissmässig bald erreicht sein und der Akkommodationsfehler e nur noch höchst unbedeutend wachsen. Die Grenze der scheinbaren Entfernung dagegen wird wegen der feineren Empfindlichkeit der sensuellen Nerven oder wegen der grösseren Variation der Einheit c'' erheblich weiter hinaus liegen, d. h. wir werden mit dem auf einem nahezu konstanten Akkommodationsfehler stehen bleibenden Auge doch noch Entfernungen in einem grossen Zwischenraume unterscheiden, wenn auch der scheinbare Unterschied weit hinter der Wirklichkeit zurückbleibt.

16. Tiefe des Raumes, in welchem ein Objekt nahezu in konstanter Grösse erscheint. Die Grenzen der Entfernung, innerhalb welcher ein Gegenstand nahezu in konstanter Grösse erscheint, erweitern und verengen sich, und überhaupt ändert sich die zwischen diesen Grenzen liegende günstigste Entfernung, sobald die absolute Grösse oder der Gesichtswinkel, die Helligkeit oder die Farbe des Gegenstandes oder die Helligkeit und Farbe des gesammten Gesichtsfeldes sich ändert.

Für sehr kleine Objekte, z. B. für die Buchstaben einer Schrift wird die normale Sehweite kleiner und die erwähnten Grenzen des deutlichen Sehens verengen sich. Für sehr grosse Objekte, z. B. für Gebäude erweitern sich diese Dimensionen. Denn schon um die zum deutlichen Sehen erforderliche Lichtmenge zu erhalten, muss der kleinere Gegenstand in grösserer Nähe betrachtet werden; die normale Sehweite und die obigen

renzen können sich also bei der Verkleinerung des Gegenstandes nur benfalls verkleinern, wogegen die Vergrösserung des Gegenstandes den mgekehrten Effekt hervorbringt. Überhaupt erzeugt das grössere Obkt einen vollständigeren Reiz auf das Auge und befähigt dasselbe ch in weiteren Grenzen der Entfernung genau zu akkommodiren. Verkleineung des Gegenstandes ist gleichbedeutend mit Fixirung kleinerer Theile esselben Gegenstandes, und umgekehrt ist Vergrösserung des Gegenstandes eichbedeutend mit der Totalbbeschauung grösserer Theile desselben Genstandes.

Diess führt das eigenthümliche Phänomen herbei, dass uns ein Baum och in erheblicher Entfernung gleich gross, ein einzelnes Blatt an m aber schon sehr klein erscheint. Ebenso verhält es sich mit der rösse eines Hauses und der eines Ziegelsteines auf seinem Dache. as Paradoxe dieser Erscheinung, wonach also der ganze Gegenstand h in anderem Verhältnisse zu verändern scheint, als seine Theile, verhwindet, wenn man erwägt, dass bei der Gesammtbeschauung des Genstandes in einer Entfernung, welche zwar für die Gesammtgrösse desben noch innerhalb der normalen Sehgrenzen, für einzelne Theile desben aber schon ausserhalb dieser Grenzen liegt, diese Theile nun nicht ehr deutlich, sondern mehr oder weniger verworren, oder mit unbeimmten Umrissen erscheinen, während umgekehrt ein solcher kleiner eil, wenn er fixirt wird, deutlich und verkleinert, gleichzeitig er das Gesammtbild undeutlich erscheint.

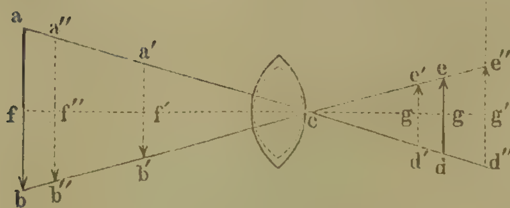
17. Einfluss der bei falscher Akkommodation entstehenden eränderung der Konvergenz des Strahlenkegels auf die scheinre Grösse und Entfernung. Bei der Verlängerung der Augenaxe er das richtige Maass, welche eine direkte Folge der Akkommodation f eine kürzere Sehweite oder der Verstärkung der Akkommotionsanstrengung ist, und welche stets eine stärkere Wölbung und rdichtung der Linse nach sich zieht, fällt das optische Bild vor die tzhaut und unser Urtheil über die geometrischen Verhältnisse des Obtes wird dergestalt beeinflusst, dass uns dasselbe zu nahe und zu ein erscheint. Diese Beeinflussung entspringt nach §. 16 No. 7, 8, 9 daraus, s durch die falsche Akkommodationsanstrengung die elementare Eint der Nervenwirkung verändert wird, und wir nehmen an, dass die zelnen Akte der Akkommodation, nämlich Verlängerung der Augenaxe, rkere Wölbung der brechenden Oberflächen, Verdichtung der Linse und dünnung des Glaskörpers bei der Beeinflussung jener Nerveneinheit uivalent sind, so dass also z. B. die Verdichtung oder stärkere Wölg der Linse dasselbe wirkt, wie die Verlängerung der Augenaxe, es in Beziehung auf die scheinbare Grösse und Entfernung gleichgültig ob die Akkommodation durch das Zusammenwirken jener verschiede- Akte oder durch eine entsprechende Längenveränderung der Augen- allein zu Stande gekommen ist.

Für die Entfernung cf des Objektes ab, Fig. 184 (a. f. S.), entspreche Abstand cg der Netzhaut und die in vollen Linien ausgezeichnete lbung der Linse c der genauen Akkommodation, sodass das optische l ed in die Netzhaut fällt. Alsdann bedingt der Abstand cg das Ur-

theil über die Entfernung cf und über die Grösse des unter dem Sehwinkel acb liegenden Objektes ab.

Wenn sich jetzt das Auge ungenau und zwar zu nahe akkommodirt; so verlängern sich die Augenaxen bis g'' und die Linse nimmt die stärker gewölbte punktirte Gestalt an. Das optische Bild des Objektes ab fällt alsdann in $d'e'$. Angenommen, $a'b'$ sei ein näher liegendes Objekt, welches sein optisches Bild bei diesem Akkommodationszustande in $e''d''$ auf die Netzhaut werfen würde, sodass also cf' die Entfernung darstellt, auf welche das Auge jetzt akkommodirt ist. Die auf ab falsch akkommodirte Netzhaut empfängt von diesem Objekte kein scharfes Bild, sondern ein Zerstreuungsbild, und wir haben in No. 3 gezeigt, dass die Unvollständigkeit der Akkommodation das Urtheil über die Entfernung des Objekts ab so beeinflusst, dass uns dasselbe zu nahe erscheint. Die scheinbare Annäherung geht jedoch nach No. 5 keineswegs bis f', sondern nur bis zu einem Punkte f'', welcher viel näher an f liegt. Hiernach erscheint uns also das Objekt ab bei der bezeichneten falschen Akkommodation des Auges sowohl hinsichtlich der Entfernung, als auch hinsichtlich der Grösse wie das Objekt $a''b''$.

Fig. 184.



Wenngleich nach unserer Annahme die stärkere Wölbung und Verdichtung der Linse mit der Verlängerung der Augenaxe insofern äquivalent ist, dass die darauf gerichteten Akkommodationsanstrengungen die Grösse der elementaren Nerveneinheit in derselben Weise affiziren und demgemäss das Urtheil über die Entfernung in gleicher Weise modifiziren, wenngleich also die mit der Verstärkung der Wölbung und Verdichtung der Linse verbundene Vorrückung der Spitze des Strahlenkegels das Urtheil über die Entfernung nicht anders beeinflusst, wie wenn sich die Augenaxe um ebensoviel weiter verlängert hätte; so hat doch die Verrückung jener Spitze noch einen anderen Effekt, welcher von der Akommodationsanstrengung ganz unabhängig, für das Urtheil über die Entfernung aber von Bedeutung ist.

Indem sich die Spitze des Strahlenkegels verrückt, ändert sich nämlich der Konvergenzwinkel β der Strahlen (§. 16 No. 7); derselbe wird grösser, wenn die Spitze vorrückt, also wenn die Linse sich stärker wölbt oder verdichtet, und er wird kleiner, wenn die Spitze zurückweicht, also wenn die Linse sich schwächer wölbt oder sich verdünnt.

Ist d der Abstand der Hornhaut von der Netzhaut, δ der Abstand, um welchen die Spitze des Strahlenkegels in Folge der stärkeren Wölbung und Verdichtung der Linse vorrückt und β' der Konvergenzwinkel der Strahlen des hierdurch veränderten Strahlenkegels; so hat man, wie schon in §. 16 No. 8 bemerkt,

$$\beta' = \frac{d}{d-\delta}\beta \text{ oder sehr nahe } = \left(1 + \frac{\delta}{d}\right)\beta$$

Man sieht, die Veränderung des Konvergenzwinkels ist nicht bedeu-
end, da δ gegen d stets sehr klein ist, sie bewirkt aber, dass die schein-
are Entfernung streng genommen nicht der Grösse $\beta = \frac{c}{b}$ (§. 16) son-
ern der Grösse

$$\beta' = \left(1 + \frac{\delta}{d}\right) \frac{c}{b}$$

oportional ist, oder dass sich die scheinbare Entfernung nahezu in
em Verhältnisse von 1 zu $1 + \frac{\delta}{d}$ vergrössert.

Die Vorrückung der Spitze des Strahlenkegels oder die Vergrösse-
ung des Konvergenzwinkels vergrössert also etwas die schein-
are Grösse und Entfernung des Objektes, oder neutralisirt einen
heil der mit der falschen Akkommodationsanstrengung verbundenen
irkung, sodass das scheinbare Objekt zwischen dem vorhin beschrie-
enen $a'' b''$ und dem wirklichen Objekte ab liegt.

Vorstehend haben wir den Effekt einer falschen Akkommodation auf
. kleine Entfernung betrachtet. Es leuchtet ein, dass bei der Akkom-
odation auf zu grosse Entfernung das Umgekehrte eintritt, dass also
e schwächere Akkommodationsanstrengung scheinbare Vergrösse-
ung und Entfernung hervorbringt und dass diese Wirkung etwas
urch den entgegengesetzten Effekt der Verkleinerung und Annäherung
sgeglichen wird, welcher mit der Verminderung des Konvergenz-
inkels β in Folge des Zurückweichens der Spitze des Strahlenkegels
i verminderter Wölbung und Dichtigkeit der Linse verbunden ist.

Die vorstehenden Resultate bedürfen nun noch einiger Berichtigun-
n, welche besonders die scheinbare Grösse betreffen und in den nach-
genden Nummern gegeben werden sollen.

**18. Einfluss der bei der Akkommodation auf falsche Entfer-
ung entstehenden Veränderungen auf die Ausdehnung des Netz-
utbildes und des Sehwinkels.** Ausser der in der vorstehenden
ummer hervorgehobenen besonderen Wirkung auf die scheinbare Grösse
d Entfernung, welche mit der Formveränderung des Auges verbunden
, giebt es noch einige andere solche Nebenwirkungen, welche direkt das
tzhautbild und den inneren Sehwinkel betreffen und dadurch die Vor-
llung von der Grösse und Entfernung des Objektes etwas beeinflussen.
sind folgende.

a. Wenn sich die Augenaxe cg auf cg'' verlängert (Fig. 184), wird
s Netzhautbild grösser, indem dasselbe von de auf $d''e''$ übergeht.
eser Vergrösserung des Netzhautbildes entspricht eine scheinbare Ver-
össerung des Sehwinkels, also auch des Objektes. Wenn man je-
ch erwägt, dass eine kleine Verlängerung der Augenaxe nur eine kleine
rgrösserung des Netzhautbildes, aber eine grosse Verkürzung der
heinbaren Sehweite hervorbringt; so erkennt man, dass diese schein-
re Vergrösserung des Objektes unbedeutend ist gegen die in vorste-
nder Nummer besprochene, aus der Veränderung der Akkommodations-
strengung entspringende Verkleinerung desselben.

b. Mit der Verlängerung der Augenaxe ist ferner eine mehr paraboloidische Krümmung der Netzhaut (§. 8 No. 23) verbunden. Diese Krümmung hat eine steilere Stellung der Normalen in den Grenzpunkten d'' und e'' des Netzhautbildes, also eine scheinbare Vergrösserung des Sehwinkels und des Objektes zur Folge. Diese Vergrösserung, welche sich zu der soeben beschriebenen gesellt, ist ebenfalls unbedeutend gegen die Verkleinerung, welche das Netzhautbild nach der vorhergehenden Nummer durch die verstärkte Akkommodationsthätigkeit erleidet.

c. Endlich ist mit der Verlängerung der Augenaxe eine mehr paraboloidische Wölbung der Linse (§. 8 No. 23) und demzufolge eine Zurückschiebung des Kreuzungspunktes, also eine Verkleinerung des Netzhautbildes verbunden. Diese Verkleinerung ist an sich ebenfalls nicht bedeutend und hebt nur einen Theil der unter *a* und *b* genannten Vergrösserung auf.

d. Hiernach können die in dieser Nummer genannten Veränderungen des Netzhautbildes und des Sehwinkels die in der vorhergehenden Nummer nachgewiesene scheinbare Verkleinerung des Objektes bei der Akkommodation auf kürzere Entfernung nicht wesentlich beeinträchtigen.

e. Dass Verkürzung der Augenaxe die entgegengesetzte Wirkung, also eine schwache Verkleinerung des Netzhautbildes erzeugt, leuchtet ein. Die bei der Akkommodation auf grössere Sehweite nach der vorhergehenden Nummer entstehende scheinbare Vergrösserung des Objektes bleibt jedoch offenbar überwiegend.

19. Besonderer Einfluss der Wölbung der Linse auf die scheinbare Grösse und Entfernung des Objektes. Von viel grösserer Bedeutung für die scheinbare Grösse des Objektes ist die Wölbung und Dichtigkeit der Linse in dem Falle, wo sie unabhängig von der Veränderung der Axenlänge des Auges eintritt und namentlich dann, wenn sich eine stärkere Wölbung der Linse oder gar eine mehr ellipsoidische Wölbung derselben (§. 8 No. 23) mit einer Verlängerung der Augenaxe verbindet. Die hauptsächlichen Wirkungen der verstärkten, namentlich der ellipsoidisch oder nach dem Rande hin verstärkten Wölbung der Linse sind folgende.

a. Zerstreuung. Da das optische Bild $e' d'$ (Fig. 184) nicht mehr in, sondern vor die Netzhaut fällt, so zerstreuen sich die Strahlen beim weiteren Fortgange jenseit des optischen Bildes und das Netzhautbild $d'' e''$ wird ein Zerstreuungsbild, selbst wenn das optische Bild $d' e'$ ganz scharf wäre oder durchaus keine Aberration stattfände. Da durch die Zerstreuung jeder Punkt in einen Kreis verwandelt wird; so vergrössert sich das Netzhautbild nach allen Seiten um die Grösse des Radius des Zerstreuungskreises und Diess hat eine scheinbare Vergrösserung des Objektes, verbunden mit einer gewissen Undeutlichkeit zur Folge.

Der Radius der Zerstreuungskreise ist umso grösser, je grösser die Pupille ist, weil derselbe lediglich durch die Winkelabweichung der Randstrahlen von den Zentralstrahlen gebildet wird. Bei ungenauer Akkommodation bewirkt also eine Erweiterung der Pupille sofort

scheinbare Vergrösserung und eine Verengung derselben scheinbare Verkleinerung.

Die hieraus entspringende Vergrösserung ist eine parallele Erweiterung der Umrisse des Objektes um eine bestimmte Breite, gleichviel wie gross das Objekt sei, also keine geometrische Vergrösserung. Kleine Objekte werden hierdurch also mehr vergrössert, als grosse, oder kleine Objekte werden hierdurch so verändert, dass sie zu gross, grosse dagegen so, dass sie relativ zu klein erscheinen.

b. Aberration. Ausser dieser Zerstreuung des optischen Bildes findet bei jeder falschen Akkommodation, namentlich bei solcher Akkommodation, wo die Wölbung an den Rändern verstärkt wird, Aberration statt. In Folge dessen konvergiren von jedem Strahlenbündel die Randstrahlen vor den Zentralstrahlen, das optische Bild $d'e'$ ist nicht scharf und umso weniger das Netzhautbild $d''e''$. Dieser Mangel an Schärfe spricht sich aber nicht wie bei der Zerstreuung durch die in vertikaler Ebene liegenden Zerstreuungskreise, sondern durch den in horizontaler Richtung sich ausdehnenden Brennkörper aus.

Der Brennkörper bildet eine gegen die Netzhaut gekehrte Spitze und erweitert sich nach der Linse hin kegelförmig. Homologe Randstrahlen konvergiren in der Axe des Strahlenkegels, aber in einem nach der Linse hin vorliegenden Punkte. Die Fortsetzungen aller aberrirenden Strahlen treffen die Netzhaut in Aberrationskreisen, welche weit über die vorhin erwähnten Zerstreuungskreise hinausgreifen können.

Hiernach bewirkt die Aberration eine scheinbare Vergrösserung des Objektes wie die Zerstreuung, jedoch in viel erheblicherem Grade. Dieser Grad wird nun noch durch mehrere Umstände erhöht.

Einmal wird sich die Netzhaut nicht scharf in die Spitze der Brennfläche einstellen, sondern vermöge des Ringes der vor dieser Spitze konvergirenden Aberrationsstrahlen etwas weiter vordringen. Wenn aber auch ein solches Vordringen nicht erfolgte, würden die von den Aberrationsstrahlen entworfenen optischen Bilder, welche sämmtlich vor der Netzhaut liegen, die Tendenz zur Verkürzung der Augenaxe oder überhaupt zur Verminderung der Akkommodationsanstrengung erzeugen. Demzufolge wird das Objekt sich zu entfernen und zu vergrössern scheinen.

Was die scheinbare Entfernung betrifft, welche durch die Aberration allerdings vergrössert wird; so muss nachdrücklich auf S. 5 hingewiesen und erinnert werden, dass die allgemeine oder parallele Verstärkung der Wölbung der Linse immer ein Akt ist, welcher einen Bestandtheil der verstärkten Akkommodationsthätigkeit bildet, also prinzipiell scheinbare Annäherung bewirkt. Diese prinzipielle Verkürzung der Sehweite wird fast immer überwiegen und durch die vorstehend genannte Verlängerung nur etwas geschwächt werden.

Nur wenn die vermehrte Aberration oder der Übergang aus der paraboloidischen in die mehr ellipsoidische Form das Resultat eines veränderten Lichtreizes des Objektes ist, findet keine Verstärkung,

sondern nur Schwächung der Akkommodationsthätigkeit, also nur scheinbare Entfernung statt.

c. Verrückung des Kreuzungspunktes. Ausserdem rückt bei stärkerer Wölbung der Linse, namentlich wenn sich die Ränder stärker wölben als die Pole, der Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen weiter nach vorn (§. 8 No. 8). Diess hat eine abermalige Vergrösserung des Netzhautbildes und demnach des Objcktes, besonders für die am weitesten nach vorn konvergirenden Aberationsstrahlen zur Folge.

Wölbte sich die Linse, indem sie an den Polen ihre Krümmung verstärkte, an den Rändern schwächer, nähme sie also eine paraboloidischere Gestalt an; so würde der Kreuzungspunkt nicht in dem Maasse, vielleicht gar nicht vorrücken, auch die Aberration würde schwächer sein.

Ausserdem erhellt, dass die entgegengesetzte Veränderung der Linse (Abflachung) den entgegengesetzten Effekt, also scheinbare Verkleinerung hervorbringen muss.

d. Veränderung der wirksamsten Strahlen. Von besonderer, vielleicht von überwiegender Wichtigkeit ist die Veränderung, welche die falsche Wölbung der Linse auf den inneren Sehwinkel hervorbringt, indem sie den wirksamsten Strahlen im Glaskörper andere Richtungen giebt. Nach §. 8 No. 17 wird eine stärkere Wölbung der Vorderfläche der Linse, namentlich der Ränder und besonders wenn mit dieser Auftreibung der Ränder keine erhebliche Verdichtung, vielleicht gar Verdünnung der Linse verbunden ist, eine Vergrösserung des inneren Sehwinkels, also auch eine scheinbare Vergrösserung des Objektes hervorbringen.

e. Veränderung des Konvergenzwinkels des Strahlenkegels. Endlich wird durch die stärkere Wölbung oder Verdichtung die Spitze des Strahlenkegels nach vorn gerückt und dadurch der Konvergenzwinkel der einfachen Strahlen dieses Kegels vergrössert, was nach No. 17 eine scheinbare Vergrösserung des Objektes und seiner Entfernung zur Folge hat.

20. Gesammtresultat für die scheinbare Grösse und Entfernung bei der Akkommodation auf eine unrichtige Entfernung. Es wird in jedem speziellen Falle nicht schwer sein zu entscheiden, welcher der in No. 17, 18 und 19 beschriebenen, zum Theil widerstreitenden Effekte in Beziehung auf scheinbare Veränderung der Entfernung und Grösse die Oberhand behält. Wesentlich kommen zwei Fälle in Betracht: Akkommodation auf eine falsche Entfernung und Akkommodation auf einen falschen Sehwinkel. Wir wollen zunächst den ersten Fall besprechen.

Wenn sich das Auge auf eine kürzere Sehweite oder auf ein näher liegendes Objekt akkommodirt, verlängert sich die Augenaxe, gleichzeitig wölbt und verdichtet sich die Linse stärker und zwar wölbt sie sich paraboloidischer, d. h. sie nimmt, je weiter vom Pole desto schwächere Wölbungen (und Dichtigkeiten) an.

Wir haben schon in No. 18 gezeigt, dass die besonderen Effekte der ungleichmässigen Formveränderungen der Linse und der Netzhaut, da diese Formveränderungen nur Nebenakte der allgemeinen Verstär-

ung der Akkommodationsthätigkeit sind, hinter dem allgemeien Effekte dieser Verstärkung zurückstehen. Scheinbare Annäheung und Verkleinerung ist daher das Resultat der Akkommoation auf eine kürzere Sehweite.

Umgekehrt ist scheinbare Entfernung und Vergrösserung ie Folge der Akkommodation auf eine längere Sehweite. Da ie falsche Akkommodation nicht die primitive, sondern nur die Geleenheitsursache zur Beirrung des Urtheils über die Entfernung und rösse ist, indem sie verhindert, dass die elementare Flächeneinheit der nsuellen Nervenwirkung den richtigen Werth annimmt; so sind auch ie bei falscher Akkommodation vorgestellten Entfernungen und Grössen ei weitem nicht der falschen Akkommodation proportional, sondern egen den richtigen Werthen viel näher, als den der falschen Akkomodation entsprechenden.

Fixirt man z. B. ein in der mittleren Sehweite liegendes Objekt und kkommodirt alsdann das Auge auf unendliche Entfernung; so erscheint nes Objekt zwar grösser und entfernter, aber doch nur wenig, bei weiem nicht so gross und so entfernt, wie es der falschen Akkommodation ntsprechen würde.

Etwas stärker wird der Effekt bei der Akkommodation auf zu nahe ntfernung. Fixirt man ein entferntes Objekt und akkommodirt alsdann as Auge auf einen in mittlerer Sehweite oder womöglich noch näher lieenden Punkt; so tritt eine scheinbare Annäherung und Verkleinerung ein, elche nicht unbedeutend ist, aber doch bei weitem nicht den Grad ereicht, welcher der falschen Akkommodationsentfernung angehören würde.

Auch diese Thatsachen liefern den Beweis, dass, wie wir schon mehrals hervorgehoben haben, das Urtheil der Grösse und Entfernung nicht uf der Akkommodation und auch nicht auf der behuf der Akkomodation erforderlichen Muskelthätigkeit beruhen kann.

21. Gesammtresultat für die scheinbare Grösse und Entferung bei der Akkommodation auf einen unrichtigen Sehwinkel. Venn die Akkommodation dagegen in der Weise ungenau ist, dass ie Linse ohne entsprechende Verlängerung der Augenaxe sich zu tark wölbt (und verdichtet), namentlich, wenn sie sich an den Ränern verhältnissmässig stärker wölbt als am Pole, also eine mehr elpsoidische Gestalt (mit horizontaler kleiner Axe) annimmt; so wollen ir nach §. 8 No. 23 diese Veränderung eine Akkommodation auf inen zu grossen Sehwinkel nennen, weil die Vergrösserung des ehwinkels jene Veränderung prinzipiell bedingt. Ein Rückgang oder in Übergang zu einer mehr paraboloidischen Krümmung würde iner Akkommodation auf einen kleineren Sehwinkel entprechen.

Unter solchen Umständen gewinnt die in No. 19 erwähnte Aberation, Verrückung des Kreuzungspunktes, Veränderung es inneren Winkels der wirksamsten Strahlen und Vergröserung des Konvergenzwinkels des Strahlenkegels immer nehr an Bedeutung, namentlich für die Grösse des Netzhautbildes. Da n diesem Falle, wo nur eine unbedeutende Verlängerung der Augenaxe

stattfindet, die in No. 5 und 14 erörterte scheinbare Verkleinerung der Entfernung und Grösse unbedeutend ist; so ist klar, dass in Beziehung auf scheinbare Grösse der durch die Aberration, die Verrückung des Kreuzungspunktes, die Veränderung des inneren Winkels der wirksamsten Strahlen und die Vergrösserung des Konvergenzwinkels des Strahlenkegels erzeugte Effekt alle übrigen überwiegen wird, dass also nicht scheinbare Verkleinerung, sondern Vergrösserung eintritt.

Mit der Verstärkung der Wölbung der Linse an irgend einer Stelle ist nach §. 8 No. 23 immer eine, wenngleich schwache Verlängerung gewisser Augendurchmesser, also eine Erhöhung der Akkommodationsthätigkeit in gewissen Richtungen verbunden, welche scheinbare Annäherung bewirkt. Dieser scheinbaren Annäherung steht die scheinbare Entfernung entgegen, welche mit der Vergrösserung des Konvergenzwinkels verbunden ist. Ob die eine oder die andere Wirkung vorwiegt, wird von den Umständen abhängen, in der Regel wird jedoch die Wirkung der gesteigerten Akkommodationsthätigkeit vorherrschen, also scheinbare Annäherung hervorbringen.

Hiernach wird in den meisten Fällen die Akkommodation auf einen zu grossen Sehwinkel (abnorme Wölbung der Ränder) scheinbare Vergrösserung und Annäherung des Objektes herbeiführen, wogegen umgekehrt die Akkommodation auf einen zu kleinen Sehwinkel (abnorme Abflachung der Ränder) scheinbare Verkleinerung und Entfernung des Objektes zur Folge haben wird.

Wenn man aber hinsichtlich der scheinbaren Entfernung den Totaleffekt oder die Resultate der Entfernungen aller Punkte des Objektes von dem Spezialeffekte für jeden einzelnen Punkt unterscheiden will: so ist zu beachten, dass bei der ellipsoidischen Wölbung der Linse die Verlängerung der schrägen Durchmesser des Auges grösser ist, als die des axialen Durchmessers. Demnach wird die Randpartie eines ausgedehnten Objektes, welches in einer um das Auge beschriebenen Kugelfläche liegt, etwas näher erscheinen, als die Zentralpartie.

22. Veränderung der scheinbaren Grösse und Entfernung bei Veränderung der wirklichen Entfernung. Da unser Auge auf sehr nahe (d. h. unterhalb der mittleren Sehweite liegende) Objekte zu weit akkommodirt ist; so erscheinen uns dieselben nach No. 20 zu entfernt und zu gross, wogegen uns sehr entfernte Objekte, weil das Auge darauf zu nahe akkommodirt ist, zu nahe und zu klein erscheinen.

Diese Thatsache ist schon in No. 10 angeführt. Es folgt daraus das gleichfalls in No. 14 schon mitgetheilte Resultat, dass ein Objekt, indem es bei konstantem Sehwinkel sich uns wirklich nähert, uns zwar näher, aber nicht nahe genug, ausserdem kleiner, aber nicht klein genug erscheint, wogegen ein Objekt, welches bei konstantem Sehwinkel sich von uns entfernt, zwar entfernter, aber nicht entfernt genug, ausserdem grösser, aber nicht gross genug erscheint.

Ferner folgt hieraus die bekannte Erscheinung, dass ein Objekt von konstanter absoluter Grösse, indem es sich uns nähert, zwar näher,

jedoch nicht nahe genug, ausserdem aber grösser zu werden scheint, wogegen ein Objekt von konstanter absoluter Grösse, indem es sich von uns entfernt, zwar entfernter, jedoch nicht entfernt genug, ausserdem aber kleiner zu werden scheint.

23. Veränderung der scheinbaren Grösse und Entfernung bei Veränderung der wirklichen Grösse. Bei sehr kleinen Objekten (deren Sehwinkel unter dem mittleren liegt, welche also verlangen, dass die von Haus aus kugelförmige Linse die einem leuchtenden Punkte nahezu entsprechende, also paraboloidisch gestaltete Form annehme) ist der Reiz der Strahlen bei gewöhnlicher Lichtstärke nicht stark genug, um die gehörige paraboloidische Krümmung zu erzeugen: die Linse bleibt also am Rande zu stark gewölbt oder nach No. 21 zu gross akkommodirt. Sehr kleine Objekte werden also zu gross und nach No. 19, b. wegen des ungenügenden Lichtreizes zu entfernt erscheinen. Umgekehrt wird die Linse bei sehr grossen Objekten von mässiger Lichtstärke nicht stark genug ellipsoidisch gewölbt, oder bleibt am Rande zu flach, also zu klein akkommodirt. Sehr grosse Objekte werden also nach No. 21 zu klein und zu nahe erscheinen.

Hieraus folgt auch, dass ein Objekt, indem es bei konstanter Entfernung sich wirklich vergrössert oder einen grösseren Sehwinkel annimmt, zwar grösser, aber nicht gross genug erscheint und daneben sich zu nähern scheint, während umgekehrt ein Objekt, indem es bei konstanter Entfernung wirklich einen kleineren Sehwinkel annimmt, zwar kleiner, aber nicht klein genug erscheint und daneben sich zu entfernen scheint.

Übrigens erscheint von einem Objekte, dessen Punkte von dem Auge gleich weit abstehen, die Peripherie näher, als der Mittelpunkt, weil sich jeder Durchmesser des Auges, welcher einem von der Peripherie herkommenden Hauptstrahle entspricht, mehr verlängern muss, als der dem Mittelpunkte entsprechende Axendurchmesser.

Hieraus folgt zugleich, dass uns ein solches Objekt nach dem Rande hin immer mehr verkleinert oder komprimirt erscheint.

24. Wirkung der Pupille. Je mehr sich die Pupille erweitert, desto erheblicher wird unter sonst gleichen Verhältnissen die Aberration, desto grösser und entfernter erscheint also nach No. 19, b. das Objekt.

Dieser Effekt wird noch dadurch unterstützt, dass die Erweiterung der Pupille ein Zubehör der Akkommodation auf grössere Sehweite ist, womit eine Verkürzung der Augenaxe und eine mehr kugelförmige Wölbung der Linse verbunden ist.

In Folge der Verengung der Pupille dagegen erscheint das Objekt wegen der Verminderung der Aberration und auch wegen der Akkommodation auf eine kürzere Entfernung, womit Verlängerung der Augenaxe und eine mehr paraboloidische Wölbung der Linse verbunden ist, kleiner und näher.

Der Blick durch ein feines Loch, z. B. durch das Loch eines Nadelstiches in einem Kartenblatte, besonders auf entfernte Gegenstände, übt durchgehends eine verkleinernde Wirkung in Folge der Beschränkung der

aberrirenden Strahlen. Ein solches Loch wirkt wie eine künstliche Verengung der Pupille. Die Meinung, dass der Blick durch ein feines Loch eine vergrössernde Wirkung thue, ist ganz irrig. Die Ursache, warum sehr nahe Objekte, durch ein feines Loch gesehen, grösser erscheinen, werden wir in §. 38 No. 6 als eine besondere nachweisen.

Da sich die Pupille bei stärker werdender Akkommodation (auf geringere Entfernung) verengt und bei schwächer werdender Akkommodation (auf grössere Entfernung) erweitert; so hebt die Veränderung der Pupille den in No. 22 erwähnten Effekt, hinsichtlich der scheinbaren Grösse und Entfernung, welche bei der Veränderung der Sehweite eintritt, zum Theil, jedoch bei weitem nicht ganz auf.

Unabhängig hiervon ist übrigens der direkte Einfluss, welcher die vermehrte oder verminderte Helligkeit (§. 26 No. 6 und 8) auf die scheinbare Grösse und Entfernung ausübt, wiewohl hiermit zugleich eine Veränderung der Pupille verbunden ist. So bewirkt Verdunklung zwar Erweiterung der Pupille, aber an sich Verkleinerung, welche durch den Effekt der Erweiterung der Pupille theilweise aufgehoben wird. Umgekehrt ist mit Erhellung zwar Verengung der Pupille, aber an sich Vergrösserung verbunden. In Beziehung auf die scheinbare Entfernung unterstützt jedoch der spezifische Effekt der Helligkeit den Effekt der damit verbundenen Veränderung der Pupille (§. 26 No. 6).

25. Einfluss der Konvergenz der Augenaxen und der Stellung derselben, sowie des Sehwinkels auf die scheinbare Grösse und Entfernung. Bei der Fixirung eines näheren Punktes, überhaupt bei der Steigerung der Akkommodationsanstrengung vergrössert sich der Konvergenzwinkel der beiden Augenaxen. Diess findet selbst dann statt, wenn man nur mit einem Auge sieht: indem man mit diesem Auge einen in der Sehlinie liegenden näheren Punkt fixirt, ändert sich zwar nicht die Richtung der Axe dieses Auges, wohl aber die des anderen Auges so, dass der Konvergenzwinkel grösser wird. Man kann Diess deutlich beobachten, wenn man das letztere Auge, welches unthätig bleiben soll, nicht mit den Augenlidern schliesst, sondern durch ein in mässiger Entfernung davor gehaltenes Blatt verdeckt. Das unthätige Auge sieht dann zwar nicht das Hauptobjekt, wohl aber die Kante des verdeckenden Blattes, welche auch von dem thätigen Auge gesehen wird, also doppelt erscheint. Sowie man jetzt das thätige Auge näher akkommodirt, verrückt sich von dem Doppelbilde der erwähnten Kante dasjenige, welches dem unthätigen Auge entspricht, beweis't also direkt, dass sich die Axenrichtung dieses Auges ändert, während die des thätigen Auges ungeändert bleibt.

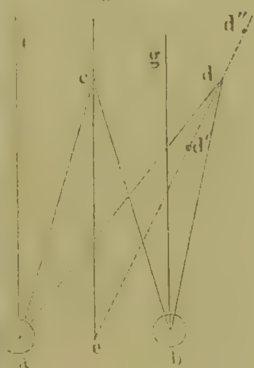
Umgekehrt nähern sich die beiden Augenaxen mehr dem Parallelismus, wenn man einen entfernteren Punkt fixirt, überhaupt, wenn man die Akkommodationsanstrengung schwächt.

Aus Vorstehendem folgt dann aber unmittelbar, dass jede Ursache, welche den Konvergenzwinkel der beiden Augenaxen vergrössert, eine Steigerung der Akkommodationsanstrengung und demzufolge eine scheinbare Annäherung und Verkleinerung des Objektes zur Folge hat, wogegen jede Ursache, welche den Konvergenzwinkel verkleinert,

ine scheinbare Entfernung und Vergrösserung des Objektes herɔeiführt. Dieser Satz gilt übrigens nur so lange, als das Objekt in der orizontalen Axe des Kopfes liegt, sodass die Axen der beiden Augen symıetrisch von ihrer parallelen Hauptrichtung abgelenkt werden.

Allgemein ist für jedes einzelne Auge der Konvergenzwinkel *a c e* Fig. 185) entscheidend, welchen seine Axe *ac* gegen die normale Kopfaxe *ec* bildet. Wenn sich dieser Winkel vergrössert, wenn also dieses Auge mehr nach innen konvergirt, scheint sich das Objekt zu nähern und zu verkleinern. Wenn sich dagegen jener Winkel verkleinert und noch mehr, wenn die Augenaxenrichtung *ac* die Kopfaxe *ec* nicht vor, sondern hinter dem Gesichte schneidet, wenn also dieses Auge weniger nach innen konvergirt oder sogar nach aussen divergirt, scheint sich das Objekt zu entfernen und zu vergrössern.

Fig. 185.



Zu diesem Effekte der veränderten Richtung der Augenaxe gesellt sich selbstverständlich immer noch der Effekt der veränderten ehweite, sodass z. B., wenn das Auge mehr nach innen konvergirt und ch zugleich noch auf eine kürzere Sehweite akkommodirt, der Effekt er scheinbaren Annäherung und Verkleinerung umso stärker wird.

Aus Vorstehendem erklären sich nun sofort mehrere optische Erheinungen.

Wenn das Objekt *c*, ohne seine Entfernung *ce* zu ändern, seitwärts ıch *d* rückt und von den beiden Augen *a*, *b* bei unveränderter Stellung es Kopfes angeblickt wird: so muss dasselbe dem Auge *a* näher und leiner, dem Auge *b* dagegen entfernter und grösser erscheinen. er Gesammteindruck setzt sich aus diesen beiden Eindrücken zusammen: nun aber die Axe des Auges *a* von seiner normalen Richtung *af* mehr ıch innen, als die Axe des Auges *b* von seiner normalen Richtung *bg* ch aussen abgelenkt, oder der Winkel *fad* grösser ist als der Winkel *d*; so wird der erstere Effekt den letzteren überwiegen; das Resultat rd also scheinbare Annäherung und Verkleinerung sein.

Man kann diesen Schluss leicht in folgender Weise kontroliren. Wenn ın bei der Stellung der Augen *a*, *b* in Fig. 185 statt des Objektes *d* ıen in der Linie *dc* näher liegenden Punkt *d'* fixirt; so erscheint das ɔjekt als Doppelbild: von den beiden Bildern erscheint aber das linke, elches dem linken Auge *a* angehört, kleiner und näher, als das chte, welches dem rechten Auge angehört. Fixirt man dagegen einen tfernteren Punkt *d''*; so erscheint das rechte Bild, welches wiederum dem ıken Auge *a* angehört, als das kleinere und nähere. Immer also kennt man die Wirkung der stärkeren Akkommodationsanstrengung des ıken Auges *a*. Etwas wird dieser Effekt übrigens dadurch ausgechen, dass die Sehweite des Objektes *d* und auch des fixirten Punk- *d'* oder *d''* für das linke Auge *a* etwas grösser ist, als für das rechte *b*.

Das vorstehende Resultat findet nahezu auch dann noch statt, wenn r ein Auge sieht, das andere aber verdeckt ist, weil die Akkommoda-

tionsthätigkeit des einen Auges induktorisch die des anderen, wenngle nicht in vollkommenem Maasse hervorruft.

Ferner gilt der Satz, dass mit der seitlichen Verrückung des O jektes scheinbare Verkleinerung und Annäherung verbunden i auch dann noch, wenn die Augen unbeweglich nach vorn gerichtet bleib also das Objekt nur indirekt und ungenau sehen. In diesem Falle ruf die Zerstreuungskreise die Tendenz zu der obigen Akkommodationsv änderung, also eine Annäherung an dasselbe Urtheil hervor.

Hieraus ergiebt sich nun der Schluss, dass ein Sehwinkel von d selben absoluten Grösse, je weiter seine Schenkel seitwärts von der Ko axe abweichen, umso kleiner erscheint, oder dass ein Objekt derselben Entfernung umso näher und kleiner erscheint, weiter es sich seitwärts von der Augenaxe entfernt.

Alles Vorstehende gilt nur von der Ausdehnung nach der horizo talen Breite. Was die Bewegung in vertikaler Richtung nach ob oder unten betrifft; so hat dieselbe auf die Konvergenz der Augenax keinen erheblichen Einfluss. Nur die zur Akkommodation erforderlic Anstrengung verstärkt sich etwas mit der Abweichung der Sehlinie v der normalen Kopfaxe nach oben und nach unten.

Allgemein kann man daher sagen, dass mit der Hinausrückung a der Augenaxe scheinbare Verkleinerung und Annäherung verbund ist, dass also grosse Objekte nicht gross genug oder zu kle und zu nahe erscheinen.

Mit dem wirklichen Grösserwerden des Objektes ist hie nach scheinbare Annäherung und mit dem wirklichen Kleine werden scheinbare Entfernung verbunden.

Obgleich das wirklich grössere Objekt grösser erscheint, als d kleinere; so erscheint es doch nicht gross genug, also zu klein: ebenso e scheint das wirklich kleinere Objekt zwar kleiner als das grössere, ab doch nicht klein genug, also zu gross.

Da diese Resultate mit den in No. 19 gefundenen, auf die Veränd rung der Linse gestützten und selbst für das Sehen mit einem Auge g tigen übereinstimmen; so erkennt man, wie beim Sehen mit zwei Aug die Wirkung der Linse durch durch die Konvergenz der Augenaxen no unterstützt wird.

Die scheinbare Verkleinerung und Annäherung ist bei der Abw chung in der Höhe geringer, als bei der Abweichung in der Breite. De gemäss erscheint uns in derselben Entfernung eine vertikale Linie grö ser und entfernter, als eine ebenso lange horizontale Linie. Berg Thürme, Bäume erscheinen höher und entfernter, als ebenso grosse Läng in horizontaler Erstreckung.

Von allen in demselben Mittelpunkte sich durchkreuzenden Lini von gleicher Länge erscheint die vertikale am längsten und die horizo tale am kürzesten und ein in vertikaler Ebene liegender Kreis erschei als eine Ellipse mit aufrecht stehender grosser Axe.

Die Akkommodationsveränderung des Auges giebt sich auch an de Gefühle und an der Bewegung der Augenlider kund. Wenn wir v dem Anblicke einer horizontalen Linie zu dem Anblicke einer ebenso w entfernten vertikalen Linie übergehen, öffnen sich die Augenlide

was nach §. 8 No. 23 induktorisch mit einer Akkommodation auf grössere Entfernung verbunden ist.

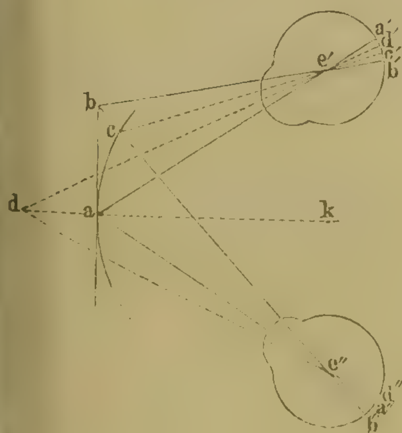
Hieraus folgt auch, dass beim Anblicke gleich grosser und gleich entfernter horizontaler und vertikaler Linien beide nicht gleichzeitig scharf erscheinen können, dass vielmehr, wenn die einen scharf erscheinen, die anderen ungenau erscheinen müssen. Damit beide Arten von Linien gleich scharf erscheinen, müssen sie verschiedene Entfernung haben, und zwar müssen die vertikalen entfernter liegen als die horizontalen, was wir in nachstehender Nummer spezieller nachweisen wollen.

26. Einfluss der Affektion differenter Netzhautstellen auf die Akkommodation und scheinbare Grösse und Entfernung. Die in vorstehender Nummer beschriebenen Erscheinungen stellen sich übrigens auch bei vollkommen ruhig gehaltenen Augen in Folge der Affektion differenter Netzhautstellen ein. Wie sehr die Affektion solcher Stellen das Bestreben der Augen, sich auf verschieden entfernte Objekte richtig zu akkommodiren, erhöht und dadurch zur richtigen Erkenntniss verschiedener Entfernungen beiträgt, das haben wir bereits in §. 10, §. 13 und in §. 16 No. 5 untersucht und dort gezeigt, dass hierdurch dem Sehen mit beiden Augen eine viel grössere Vollkommenheit des stereoskopischen Eindruckes verleiht.

Dieselben Gründe bleiben aber auch dann noch maassgebend, wenn zwei Objekte, welche verschiedene Entfernung haben, nicht in der Richtung der Kopfaxe oder nahe dabei liegen, sondern auch dann noch, wenn ihre Visirlinien grössere oder kleinere Winkel mit der Kopfaxe einschliessen: allein in diesem Falle ist die Wirkung bei derselben Abweichung von der Kopfaxe nicht immer dieselbe, sondern hängt auch von dem Winkel ab, unter welchem die Ebene der Visirlinie und der Kopfaxe sich gegen die horizontale Grundebene neigt.

Denn wenn Fig. 186 die horizontale Grundebene darstellt und beide Augen auf den in der Kopfaxe ka liegenden Punkt a gerichtet sind; so wird ein seitwärts davon liegender Punkt b seine Netzhautbilder nach b' und b'' werfen: es wird aber jetzt der Bogen $a'b'$ nicht gleich $a''b''$, folglich werden b' und b'' differente Netzhautstellen sein. Ist ac der durch a gehende Horopterkreis und c' das Bild von c; so wird c' der mit b'' korrespondirende Netzhautpunkt oder $a'c' = a''b''$ sein: der Abstand $c'b'$ misst also das Bestreben der Augen, die Richtungen ihrer Axen zu verändern, um die Bilder von b auf identische Netzhautsellen zu bringen.

Fig. 186.



Betrachtet man jetzt alle Punkte, welche von a denselben Abstand ab haben und in der auf der Kopfaxe ka normal stehenden Vertikalebene

liegen; so wird die Differenz $c'b'$, welche die Differenz der Netzhautstellen darstellt, am grössten sein, wenn ab, wie in unserer Figur horizontal liegt, dagegen am kleinsten, wenn ab vertikal steht.

Der Winkel $c'be''$ ist kleiner als der Winkel $e'ae''$, das durch die Affektion der differenten Netzhautstellen erweckte Bestreben geht also dahin, den Konvergenzwinkel der Augenaxen zu verkleinern, und hiermit ist induktorisch die Tendenz verbunden, die Akkommodationsanstrengung zu verstärken, in Folge dessen also der Punkt b zu nahe und die Linie ab zu klein erscheint. Man erkennt aber, dass die horizontale Länge ab mehr verkürzt erscheint, als die vertikale.

Wenn man jetzt die Frage aufwirft, ob eine vertikal stehende Linie genähert oder entfernt werden muss, um mit der horizontalen ab gleich scharf zu erscheinen; so kömmt es offenbar darauf an, die vertikale Linie so zu stellen, dass sie ein gleiches Bestreben zur Akkommodationsveränderung erweckt, wie die horizontale Linie ab. Zu diesem Ende muss die vertikale Linie weiter vom Auge entfernt werden, als die horizontale. Denn die Differenz der beiden Netzhautstellen b' und b'' besteht darin, dass der im rechten Auge e' getroffene Punkt um das Stück $c'b'$ weiter in der Richtung nach der Nase liegt, als der im linken Auge e'' getroffene Punkt, oder dass wenn im linken Auge der Pol a'' getroffen würde, im rechten Auge ein von a' gegen die Nase hin liegender Punkt zur Affektion kömmt. Eben Dasselbe wird nun bewirkt durch einen Punkt d, welcher um so viel weiter in der Kopfaxe über a hinaus liegt, dass die Summe der Abstände $a'd'$ und $a''d''$ der beiden Bilder d' und d'' desselben von den Polen a' und a'' gleich $c'b'$ ist. Denn wenn jetzt d'' auf a'' reduzirt wird, rückt d' noch weiter von a' gegen die Nase vor.

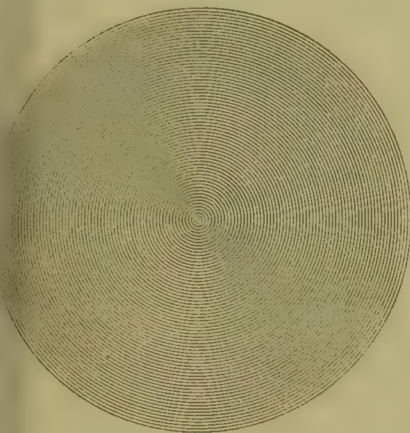
Hiernach erscheint bei der Fixirung des Punktes a der Punkt d etwa ebenso scharf wie der Punkt b. Die oberste Spitze einer in d errichteten Vertikalen von der Länge ab würde allerdings etwas weniger scharf erscheinen, als d, jedoch nicht viel. Aus allem Diesen folgt, dass die Endpunkte der horizontalen und der vertikalen Linie gleich scharf erscheinen werden, wenn die vertikale zwischen a und d, also in einer grösseren Entfernung, als die horizontale aufgerichtet ist.

Zur Entwicklung dieses Resultates ist es offenbar nicht nöthig, der Asymmetrie des Auges eine besondere Wirkung zuzuschreiben.

27. Das Wallen und Strahlen gemusterter Flächen. Aus Vorstehendem erläutert sich ferner eine andere eigenthümliche Erscheinung, welche gewöhnlich ebenfalls ohne Weiteres der Asymmetrie des Auges überantwortet wird: nämlich die strahligen Licht- und Schattenfiguren, welche sich beim Anblicke einer mit nahen konzentrischen Kreislinien bezogenen Fläche wie Fig. 187 zeigen. Man kann hierher alle jene Erscheinungen rechnen, welche entstehen, wenn das Auge auf eine Fläche blickt, welche in irgend einer Weise kleingemustert ist. In allen solchen Fällen äussert sich eine gewisse Unruhe des Auges und eine Beweglichkeit des Figurennetzes, verbunden mit Helligkeitswechseln, eine Art Wallen und Strahlen der Figur.

Wenn nämlich auf einer ebenen Fläche zahlreiche Objekte in solcher Nachbarschaft dargestellt sind, dass sie leicht überblickt und erkannt werden können; so wird das eine den Akkommodationszustand beeinträchtigen, den das andere verlangt, weil die von jenem getroffenen differenten Netzhautstellen eine andere Affektion hervorrufen, als die von diesem getroffenen. Hierdurch werden die brechenden Medien in Beziehung auf Krümmungen, Dimensionen, Formen und Dichtigkeiten einen durch das Muster der Figur bedingten Zustand annehmen, welcher sich bei regelmässigen Kreislinien in strahligen Verdichtungen und Verdünnungen, und demzufolge in der Erscheinung von Licht- und Schattenstrahlen äussert.

Fig. 187.



Bei der grossen Zahl von Objekten auf einer solchen Fläche ist das Auge aber kaum im Stande, dauernd einen einzigen Punkt zu fixiren und die Aufmerksamkeit zwischen allen übrigen in einem bestimmten Verhältnisse vertheilt zu erhalten. Der geringste Wechsel hierin, welcher sich sofort einstellt, indem die Aufmerksamkeit sich dem einen oder dem anderen Punkte mehr zuwendet, hat eine Veränderung des Akkommodationszustandes zur Folge und hieraus entspringt die Beweglichkeit jener Erscheinungen, während die Unruhe des Auges ihren Grund in den vielfachen Ansprüchen hat, welchen alle jene Objekte an die Aufmerksamkeit des Auges erheben, indem ein jeder die Tendenz zur Fixirung erweckt.

Diese Escheinungen, sowie auch die vorher beschriebene Ungleichheit in der Erscheinung einer horizontalen und einer vertikalen Linie müssen sich ermässigen, wenn die Linien nicht auf einer vertikalen Ebene, sondern auf einer Horopterfläche verzeichnet sind. Ganz und gar verschwinden jene Erscheinungen übrigens nicht, theils weil die Vertheilung der Aufmerksamkeit über verschiedene Punkte immer eine besondere Spannung der Organe und eine Unruhe des Auges erzeugt, welche mit derartigen Phänomenen verknüpft ist, theils weil bei wirklich erfolgender Bewegung der Augen im Horopterkreise zwar der Konvergenzwinkel der Augenaxen, nicht aber die Entfernung des Objektes von jedem einzelnen Auge sich gleich bleibt. Während nun die Entfernung für das eine Auge sich verkürzt, verlängert sich die für das andere und Diess hat zur Folge, dass ein Auge seine Akkommodationsanstrengung vermehren, das andere dagegen sie vermindern muss.

28. Wirkung der Öffnung und Schliessung der Augenlider.

Mit der Konvergenz der Augenaxen ist Verengung der Pupille und Zusammendrückung der Augenlider verbunden, während innerlich Verlängerung der Augenaxe, stärkere Wölbung und Verdichtung der Linse und mehr paraboloidische Krümmung der Linse

und der Netzhaut, also relative Abflachung der Ränder stattfindet. Umgekehrt ist mit dem Parallelismus der Augenaxen Erweiterung der Pupille und Öffnung der Augenlider verbunden, welche innerlich mit Verkürzung der Augenaxe, schwächerer Wölbung und Verdichtung der Linse, aber mehr kugelförmiger oder ellipsoidischer Krümmung der Linse und der Netzhaut, also mit relativer Wölbung der Ränder begleitet ist.

Beim Blicke auf nähere oder kleinere Objekte konvergiren daher die Augen stärker, die Pupillen verengen sich und die Augenlider drücken sich zusammen, wogegen beim Blicke auf entferntere oder grössere Objekte die Augenaxen schwächer konvergiren, die Pupillen sich erweitern und die Augenlider sich mehr öffnen.

Wenn wir ferner die Augenlider freiwillig schliessen; so tritt induktorisch stärkere Konvergenz der Augenaxen und demzufolge Akkommodation auf eine kleinere Sehweite ein. In Folge dessen trennen sich, wenn man zugleich die zum Fixiren oder zur genauen Akkommodation auf ein bestimmtes Objekt erforderliche Anstrengung sinken lässt, die Objekte in zwei Bilder und scheinen sich zu nähern oder zu verkleinern. Das Doppelsehen und die scheinbare Verkleinerung ist eine bekannte Erscheinung, welche sich vor dem schlafmüden Auge einstellt.

Bei gänzlichem Schliessen der Augenlider und insbesondere im Schlafe konvergiren die Augenaxen bekanntermaassen stark.

§. 25.

Gleichzeitige Akkommodation auf verschiedene Entfernungen. — Erscheinung des körperlichen Raumes. — Perspektive.

1. Gleichzeitige Betrachtung verschiedener Gegenstände. Im vorstehenden Paragraphen haben wir die Erscheinung untersucht, welche dasselbe Objekt aus verschiedenen Entfernungen gewährt, und gefunden, dass einem vollkommenen Auge, welches die Fähigkeit besitzt, sich auf jede Entfernung richtig zu akkommodiren, dasselbe Objekt aus jeder Entfernung gleich gross erscheinen würde. Nur der Unvollkommenheit unseres Organismus haben wir es zuzuschreiben, dass Diess nicht geschieht, dass sich das Auge auf grössere Entfernungen zu nahe akkommodirt und dass uns demgemäss ein Objekt, indem es sich von uns entfernt, kleiner erscheint. Diese Verkleinerung ist anfangs gering, wächst aber mit der Entfernung und entspricht mit zunehmender Entfernung immer mehr und mehr dem geometrischen Verhältnisse, in welchem sich der Sehwinkel verändert, indem sich die scheinbare Sehweite immer mehr einem konstanten Grenzwerthe nähert.

Bei diesen Erscheinungen ist vorausgesetzt, dass man ein Objekt nach und nach in verschiedenen Entfernungen betrachte, dass man also das Auge nach und nach auf verschiedene Sehweiten akkommodire. Für die Betrachtung des uns umgebenden Raumes mit

einem unverwandten Blicke gilt jedoch eine andere Voraussetzung, nämlich die, dass das Auge mit einunddemselben Akkommodationszustande gleichzeitig die in verschiedenen Entfernungen liegenden Objekte beobachte. Auch diesen Fall haben wir im vorstehenden Paragraphen erörtert und gefunden, dass die mit einem konstanten Akkommodationszustande verbundenen Mängel der Akkommodation auf die verschiedenen Entfernungen zu einem Resultate führt, welches dem vorstehenden in den Grundzügen gleich ist und nur in der Hinsicht davon abweicht, dass jetzt, wo die Akkommodation konstant bleibt, die scheinbare Verkleinerung mit zunehmender Entfernung in etwas stärkerem Maasse vor sich geht, als in dem ersteren Falle, wo die Akkommodation der zunehmenden Entfernung folgt.

Indem also das Auge beim Blicke in den vor ihm liegenden Raum rgend einen Punkt fixirt, schätzt dasselbe diejenigen Entfernungen nahezu richtig, welche von der fixirten nicht zu sehr abweichen, besonders wenn die letztere die normale ist. Für die grösseren und kleineren Entfernungen wird das Urtheil immer mehr unrichtig. Überhaupt aber ist das Auge bei der Fixirung eines bestimmten Punktes für die entfernteren Objekte zu nahe und für die näheren zu entfernt akkommodirt; dasselbe schätzt die grossen Entfernungen zu klein und die sehr kleinen zu gross, die entfernten Objekte zu klein und die ganz nahen zu gross.

2. Erscheinung gerader und paralleler Linien. Zwei Parallellinien würden einem vollkommen gebauten Auge stets als parallel erscheinen, gleichviel ob dasselbe nachundnach die in verschiedenen Entfernungen liegenden Abstände derselben betrachtet und deren Grösse in Gedanken miteinander vergleicht, oder ob dasselbe beide Linien mit einem Blicke übersieht, indem es irgend einen Punkt des Raumes fixirt.

In Wirklichkeit jedoch verhalten sich die Sachen folgendermaassen. Betrachtet man nachundnach die einzelnen Abstände; so erscheinen die entfernteren kleiner als die näheren, jedoch nicht in dem Verhältnisse, in welchem der Sehwinkel abnimmt. Innerhalb gewisser Grenzen ist die Abnahme schwach und nähert sich nur allmählich der zu der Entfernung im Verhältniss stehenden oder dem Sehwinkel entsprechenden. Betrachtet man jedoch die beiden Parallelen mit einem fixirten Blicke; so befolgen sie dasselbe eben bezeichnete Gesetz, jedoch in etwas verstärktem Maasse. Immer erscheinen uns also zwei Parallele wie zwei konvergirende Linien: die Konvergenz ist jedoch viel schwächer, als dem Gesetze der Abnahme des Sehwinkels entspricht.

Ausserdem geht die Veränderung des Abstandes zweier Parallelen über die Veränderung der Grösse eines sich entfernenden Objektes nicht mit derjenigen Gleichmässigkeit vor sich, welche dem Grundwesen der Veränderung des Sehwinkels irgend zweier geraden Linien von beliebiger Neigung gegen einander und gegen die Sehaxe entsprechen würde. Innerhalb gewisser Grenzen (nämlich für diejenigen Entfernungen, welche nicht zu sehr von der mittleren Sehweite abweichen) findet ja scheinbar gar keine oder doch nur eine sehr unbedeutende Konvergenz der Parallelen und in grossen Entfernungen (wo die schein-

bare Grösse nahezu direkt mit dem Sehwinkel variirt) findet scheinbar genau die Verjüngung zweier konvergirenden geraden Linien statt.

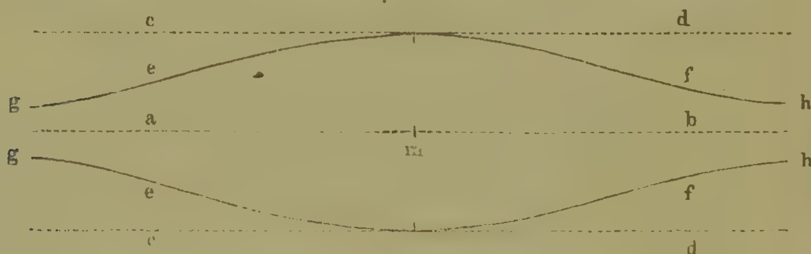
Hieraus folgt, dass eine gerade Linie dem Auge überhaupt nicht als gerade, sondern als krumm erscheint. Das Wesen dieser scheinbaren Krümmung ergiebt sich leicht aus den obigen Bemerkungen über die Art und Weise wie die scheinbare Entfernung und Bogengrösse von der wirklichen abweicht.

Gleichwohl macht jede gerade Linie, z. B. ein gespannter Faden, wenn derselbe nicht unter gar zu abnormen Verhältnissen betrachtet wird, den Eindruck des Geraden, wenn dieselbe auch rechts und links von demjenigen Punkte, für welchen das Auge am besten akkommodirt ist, vermöge der wachsenden Zerstreuungskreise zu einer kegelförmigen Figur anschwillt: die Axe dieses Kegels, welche alle Mittelpunkte der Zerstreuungskreise verbindet, scheint gerade zu sein.

Diese Erscheinung erläutert sich dadurch, dass wir nur innerhalb eines gewissen Bezirkes in der Nähe des fixirten Punktes, nämlich innerhalb des in §. 21 No. 9 erwähnten Raumes des gleichförmigen Sehens im Stande sind, die Verhältnisse der darin liegenden Objekte deutlich zu übersehen. Innerhalb dieser Grenzen ist die scheinbare Krümmung einer geraden Linie so gering, dass wir dieselbe nicht wahrnehmen jenseit jener Grenzen aber ist wegen eintretender Undeutlichkeit kein sicheres Urtheil mehr möglich.

Nur bei ungewöhnlicher Steigerung des Reizes wird die scheinbare Krümmung gerader Linien bemerkbar. Hält man z. B. den gespannten Faden *cd* (Fig. 188) so vor das eine Auge (während das andere Auge ge-

Fig. 188.



schlossen ist), dass sich die Mitte desselben etwa 10 Zoll weit vom Auge befindet und lässt man dann das Auge in einem Abstande von 3 Zoll parallel mit dem Faden, also längs der Linie *ab* aufundnieder gleiten; so erscheint der Faden nicht gerade, sondern gegen die Augenaxe konkav gebogen, wie die Linie *ef* zeigt. Bei genugsamer Verlängerung des Fadens und wenn es möglich wäre, eine so grosse Länge zu übersehen, würde die scheinbare Krümmung endlich in eine konvexe Asymptote *eg*, *fh* an der Linie *ab* übergehen, wie es dem mathematischen Gesetze der Abnahme des Sehwinkels entspricht.

Sehr deutlich wird die Erscheinung, wenn man mit einem Auge auf ein möglichst nahes Paar von Parallelen *cd*, *cd* von der Mitte *m* aus blickt. Dieselben erscheinen alsdann wie die beiden Kurven *ef*, *ef*.

3. Gesetz der scheinbaren Grössenveränderung in den Bezirken gleichmässiger Deutlichkeit. Die letzte Wahrnehmung, dass uns jede gerade Linie selbst innerhalb ziemlich weiter Grenzen als gerade erscheint, führt uns zu dem Gesetze, nach welchem die scheinbare Grösse innerhalb gewisser Grenzen sich ändert. Dasselbe besteht in Folgendem.

Wenn sich das Auge auf den in der Entfernung a in der Sehaxe liegenden Punkt A unrichtig und zwar so akkommodirt, dass ihm diese Entfernung als na und demgemäss die in dieser Entfernung liegende Bogengrösse des Sehwinkels α als $n\alpha a$ erscheint; so entspricht innerhalb des kugelförmigen Bezirkes von gleichmässiger Deutlichkeit um den Punkt A herum (§. 21 No. 9) für jeden anderen, in der Entfernung b liegenden Punkt B das Akkommodationsbestreben, welches durch die Zerstreuungskreise des Punktes B geweckt wird, einer Affektion, welche das Urtheil über die Entfernung b und jede daran liegende Bogengrösse in demselben Verhältnisse n beeinflusst. Es erscheint uns also in jenem Raume jede Entfernung b vom Auge als nb und jeder Bogen vom Sehwinkel β als $n\beta b$.

Hieraus folgt aber, dass die geometrischen Verhältnisse aller in dem fraglichen Bezirke liegenden Objekte sich nicht ändern, dass also die Erscheinung bis auf den Grad n der Vergrösserung oder Verkleinerung und bis auf die entsprechende Ab- oder Anrückung, ohne Verzerrungen und Formveränderungen vollkommen der Wirklichkeit entspricht.

Der Grad n ist eine variabele Grösse, welche bei gleicher Helligkeit und Farbe und sonstiger Beschaffenheit des von Objekten gefüllten Gesichtsraumes mit der Entfernung a des Mittelpunktes des Bezirkes des deutlichen Sehens variirt. Ist a gleich der mittleren Sehweite; so hat man $n = 1$. Für grössere Sehweiten wird $n < 1$ und sinkt für unendliche Sehweiten auf null herab oder nähert sich vielmehr immer mehr dem Werthe $\frac{k}{a}$, worin k die Maximalsehweite darstellt, sodass schliesslich $na = k$ und $n\alpha a = k\alpha$ wird. Für kleinere Sehweiten wird $n > 1$ und steigt für unendlich kleine Sehweiten auf einen unendlich grossen Werth oder nähert sich vielmehr immer mehr dem Werthe $\frac{k'}{a}$, worin k' die Minimalsehweite darstellt, sodass schliesslich $na = k'$ und $n\alpha a = k'\alpha$ wird.

Innerhalb des Bezirkes gleichmässiger Deutlichkeit, welcher für die mittlere Sehweite dem Bezirke des deutlichen Sehens entspricht, erscheinen alle Objekte in derselben Form, welche sie wirklich besitzen: die Parallelen bleiben parallel und es findet keine merkbare Verjüngung statt: der optische Effekt entspricht im Wesentlichen nur einer Vergrösserung oder Verkleinerung in dem Verhältnisse n.

Umfasst jedoch der Gesichtsraum ein grösseres Feld, z. B. die Kugel des Gesammtüberblickes (§. 21 No. 10); so tritt allerdings scheinbare Verjüngung der Parallellinien ein, jedoch in viel schwächerem Verhältnisse, als der Abnahme des Sehwinkels oder den perspektivischen Regeln ent-

spricht. Alle geraden Linien erscheinen auch jetzt noch nahezu als gerade: das Auge nimmt die scheinbare Krümmung in diesem Zustande schon desshalb nicht wahr, weil es die Objekte ohne Anstrengung fixirt und weil mit der schärferen Fixirung irgend einer Linie sich der Bezirk, in welchem ein scharfes Erkennen möglich ist, von selbst beschränkt. Ist für die vordere Grenze dieses Raumes n und für die hintere n' das Vergrösserungs- oder Verkleinerungsverhältniss; so entspricht die scheinbare Verjüngung dem Übergange von $n : n'$.

4. Kontrastwirkung zweier Objekte. Aus dem Früheren (§. 24 No. 20) folgt, dass uns die Entfernung eines Objektes A zu klein erscheint, wenn wir ein näheres Objekt B fixiren, und umgekehrt zu gross, wenn wir ein entfernteres Objekt fixiren. Übrigens vereinigt sich mit dieser Veränderung der scheinbaren Grösse der Entfernung, welche darauf beruht, dass mit der veränderten Akkommodationsanstrengung unser subjektiver Maassstab für die Grösse sich ändert, noch ein anderer Effekt, welcher dem vorstehenden in gewisser Weise entgegensteht und bereits in §. 24 No. 9 angedeutet ist.

Indem wir ein näheres Objekt B fixiren oder die Aufmerksamkeit, die Selbstthätigkeit für dasselbe erhöhen, vermindert sich unabweislich diese Thätigkeit für das Hauptobjekt A. Indem sich also durch den freiwillig oder unfreiwillig herbeigeführten Reiz eines näheren Nebenobjektes die Akkommodationsanstrengung für dieses Nebenobjekt verstärkt, schwächt sie sich für das Hauptobjekt. Das Hauptobjekt scheint sich demgemäss zu entfernen, während das Nebenobjekt sich zu nähern scheint.

Dieser Vorgang entspricht auch dem Verhalten der Lichtstrahlen im Auge. Solange das Hauptobjekt A fixirt wird, konzentriren sich seine Strahlenbündel auf der Netzhaut genau und gestatten ein scharfes Urtheil über die Entfernung, während die Strahlen des Nebenobjektes B Zerstreuungskreise bilden, also kein so sicheres Urtheil gestatten. Wenn jetzt das näher liegende Objekt B fixirt wird, konzentriren sich dessen Lichtbündel; aber die des Hauptobjektes erzeugen Zerstreuungskreise. Das Urtheil über die Entfernung des Hauptobjektes ist also jetzt weniger scharf als vorhin; wenn das Nebenobjekt die grössere Anstrengung in Anspruch nimmt, oder wenn dasselbe näher liegt, wird die auf das Hauptobjekt verwandte Akkommodationsanstrengung kleiner sein als die der richtigen Akkommodation entsprechende Anstrengung und demgemäss wird sich das Hauptobjekt zu entfernen scheinen.

Das scheinbare Weiterrücken des Objektes A, wenn sich das Auge näher akkommodirt, ist auch eine natürliche Folge des Umstandes, dass indem sich die Augenaxe verlängert oder die Netzhaut sich zurückzieht, der Konvergenzpunkt der Strahlen von der Netzhaut nach vorn rückt oder doch zu rücken scheint. Diese scheinbare Verrückung des Konvergenzpunktes entspricht aber einer scheinbaren Entfernung des Objektes.

Wenn das fixirte Nebenobjekt B entfernter ist als das Hauptobjekt, findet in allen vorstehenden Beziehungen das Umgekehrte statt.

Aus allem Diesen ergiebt sich folgendes Resultat. Wenn sich das Auge auf ein näheres Nebenobjekt B akkommodirt,

verkleinern sich scheinbar alle absoluten Dimensionen des Gesichtsraumes und der darin liegenden Objekte: allein in den relativen Dimensionen dieser Objekte tritt eine Änderung dergestalt ein, dass alle Objekte A, welche jenseit B liegen, sich gegen B entfernen und vergrössern, alle Objekte C aber, welche diessseit B liegen, sich nähern und verkleinern. Die letztere relative Veränderung wird freilich von der ersteren ihrem absoluten Betrage nach überwogen: allein sie ist für das gegenseitige Verhältniss der Objekte von grosser Wichtigkeit. Man kann sich anschaulich auch so ausdrücken, dass man sagt, die Verstärkung der Akkommodationsanstrengung hat eine scheinbare Kontraktion oder Verdichtung des ganzen Gesichtsraumes zur Folge, welche nicht gleichmässig ist, sondern mit der Entfernung vom Auge abnimmt, sodass in der Nähe des Auges die grösste und in unendlicher Entfernung die geringste Verkleinerung stattfindet.

Bei der Schwächung der Akkommodationsanstrengung tritt das Umgekehrte ein: der ganze Gesichtsraum erleidet eine scheinbare Ausdehnung oder Verdünnung, welche mit der Entfernung vom Auge abnimmt, sodass in der Nähe des Auges die grösste und in unendlicher Entfernung die geringste Vergrösserung stattfindet.

Absolut genommen, oder mit Bezug auf einen unveränderlichen Maassstab und Anfangspunkt im Auge, bewirkt also die Fixirung eines näheren Objektes eine Annäherung und Verkleinerung aller, dagegen die Fixirung eines entfernteren Objektes eine Entfernung und Vergrösserung aller. Relativ genommen, mit Bezug auf die Grösse und den Ort des zweiten Objektes B bewirkt jedoch die Fixirung eines näheren Objektes B eine Entfernung und Vergrösserung, dagegen die Fixirung eines entfernteren Objektes B eine Annäherung und Verkleinerung.

Der absolute, wie der relative Standpunkt haben ihre besondere Bedeutung im Reiche der Erscheinungen. Für die Vergleichung von Zuständen, welche ein Objekt zu verschiedenen Zeiten in einer wechselnden Umgebung einnimmt, kömmt vorzugsweise der absolute Standpunkt in Frage. Für Vergleichungen in demselben Zeitpunkte und in derselben Umgebung, wo es sich um die Beziehungen der Objekte untereinander, um das Verhältniss des Theiles zum Ganzen handelt, kömmt vorzugsweise der relative Standpunkt in Betracht.

Im Allgemeinen jedoch, wo ein bestimmter Standpunkt nicht fest vorgezeichnet ist, kann für die Grösse nur der absolute Standpunkt entscheiden, weil bei dem Begriffe der Grösse die Vorstellung der Messung durch eine feste Einheit zu Grunde liegt. Für die Entfernung dagegen ist dem Auge im Allgemeinen weniger die absolute Grösse, als das relative Ortsverhältniss der Objekte untereinander, also der relative Standpunkt von Wichtigkeit. Demgemäss besteht die im

Allgemeinen zur Geltung kommende Wirkung der Fixirung eines nähe-
ren Objektes darin, dass das Hauptobjekt kleiner wird und sich
entfernt, die Wirkung der Fixirung eines entfernteren Objektes
aber darin, dass das Hauptobjekt grösser wird und sich nähert.

5. Linearperspektive. Wir kommen jetzt zu der bildlichen
Darstellung der Objekte, d. h. zu der Darstellung von Figuren, welche
auf das Auge des Beschauers denselben Eindruck hervorbringen, wie die
wirklichen Objekte.

Jeder Gegenstand der Aussenwelt erscheint unserem Auge in Be-
ziehung auf seine Individualität als Das, was er ist, als ein Sonderding
welches sich von allen übrigen unterscheidet. Es können keine
zwei Gegenstände als identisch erscheinen: es kann demnach (solange
das Auge normal gebraucht wird) auch kein Bild denselben Eindruck
machen, wie der darzustellende Gegenstand (insofern dieses Bild nicht
in allen Stücken dem Originale gleich ist oder der Gang der von jenem
Bilde kommenden Strahlen durch künstliche Mittel, z. B. durch Gläser
geändert oder ein abnormer Akkommodationszustand des Auges erzeugt
wird).

Am täuschendsten würde das Objekt durch ein stereometrisches Mo-
dell, welches ihm in den geometrischen Verhältnissen, Lichtstärken und
Farben ähnlich wäre, nachzuahmen sein. Allein ein verkleinertes Modell
welches dem Auge in dem Maasse der Verkleinerung oder in einem ande-
ren Maasse näher gerückt wäre, würde nach Vorstehendem immer zu
klein und zu nahe erscheinen. Abgesehen von der absoluten Grösse
und Entfernung wird übrigens in Beziehung auf Form das Modell dem
Objekte scheinbar gleichen.

Noch weniger wie ein Modell kann ein ebenes oder perspekti-
visches Bild den Eindruck des wirklichen Objektes hervorbringen. Ein
solches Bild wird nicht allein zu klein und zu nahe, sondern auch stereo-
metrisch verändert erscheinen. Berücksichtigen wir zunächst nur die
Linearverhältnisse des Bildes. Zieht man durch das Auge und die Kon-
turen des Bildes gerade Linien, welche Pyramidenflächen bilden; so steht
das perspektivische Bild zu dem Objekte nur in der Beziehung, dass seine
Konturen ebenfalls in jener Pyramidenfläche liegen. Wie nahe oder wie
weit, ist für die perspektivische Darstellung ganz gleichgültig: dasselbe
Bild ist also in seinen Linienzügen die perspektivische Dar-
stellung unendlich vieler nach Form und Lage ganz verschie-
denen und unähnlichen Objekte. Wie wäre es also möglich, dass die-
ses Bild den Eindruck nur eines Objektes von ganz bestimmter Form
machte!

Nach der letzten Betrachtung müsste es sogar befremden, dass ein
perspektivisches Bild auch nur näherungsweise die Vorstellung eines
bestimmten Objektes gewähren könnte. Zur Erläuterung dient Fol-
gendes.

Zunächst ist klar, dass zur Darstellung eines Objektes auf einer
ebenen Bildfläche, welche den ebenen Durchschnitt durch die erwähn-
ten vom Auge nach dem Objekte führenden Pyramidenflächen bil-
det, keine andere Figur gewählt werden kann, als diese Durchschnitt

figur, dass also das Bild nur nach den gewöhnlichen Regeln der Perspektive gezeichnet werden kann, weil jedes andere Linienbild einem Objekte entsprechen würde, welches nicht in jenen Pyramidenflächen läge, also dem darzustellenden Objekte sicher nicht gleich käme.

Betrachtet man ein Strahlenbündel von der Basis der Pupille, welches von einem Punkte A des Objektes und von dem korrespondirenden Punkte B des perspektivischen Bildes ausgeht; so haben beide Bündel nur den Axenstrahl, nicht aber die übrigen Strahlen gemein. Beide können also nicht dieselbe Akkommodation hervorrufen: sie legen aber wenigstens beide den Ausgangspunkt in dieselbe gerade Linie.

Ohne besondere Veränderungen des Auges würde nun ein perspektivisches Linienbild, wenn dasselbe fixirt wird, stets als eine ebene Figur, welche nur sich selbst, nicht einem körperlichen Objekte ähnlich wäre, erscheinen: die verjüngten Linien würden stets verjüngt, nicht parallel erscheinen, die nach hinten niedersinkenden und verschobenen Gebäude würden sich nicht aufrichten und in den rechten Winkel stellen.

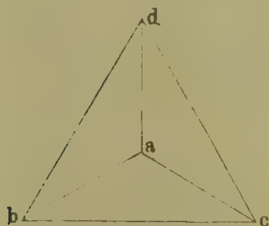
Zur richtigen Erkenntniss des Bildes sind also gewisse Veränderungen des Auges nöthig. Dieselben bestehen in einer abnormen Akkommodation. Wir sind im Stande, das Auge auf jeden beliebigen Punkt des Raumes, also auch auf einen ausserhalb der Bildfläche liegenden zu akkommodiren. Ja noch mehr, wir vermögen die einzelnen Punkte der Netzhaut oder die einzelnen Durchmesser des Auges auf verschiedene Punkte mehr oder weniger gut zu akkommodiren, d. h. mit anderen Worten, wir vermögen das Auge, welches ein Bild betrachtet, auf ein beliebiges Objekt des Raumes mehr oder weniger gut zu akkommodiren. Es ist, um den Effekt der Akkommodation nahezu hervorzubringen, also namentlich um der elementaren Einheit der Nervenwirkung nahezu die richtige Grösse zu verleihen, nicht unbedingt nöthig, dass die Akkommodation zu Stande komme; die Tendenz dazu genügt, um die richtige Funktionirung des Sehnerven zu erhöhen (§. 16 No. 9).

Am besten gelingt die Akkommodation auf ein fremdes Objekt, wenn ein solches wirklich vorhanden ist und durch die Lichtwirkung seiner Punkte das Auge zu jener Akkommodation nöthigt oder die Tendenz dazu energisch erweckt. Ist das fremde Objekt nicht körperlich vorhanden; so sind wir nur bis zu einem gewissen Grade in der Weise Herr über unser Auge, dass wir dasselbe unter der Gewalt des Willens, also für ein gedachtes Objekt näherungsweise zu akkommodiren vermögen. Die Akkommodation auf einen einzelnen näher oder ferner liegenden Punkt, auch wenn derselbe nicht als Lichtpunkt vorhanden ist, wird Jeder nach einiger Übung leicht zu Stande bringen. Die Akkommodation auf ein ausgedehntes, wohl gar körperliches, gefärbtes Objekt mit verschiedenen Helligkeitsgraden ist viel schwieriger: sie setzt eine starke Einbildungskraft voraus und ich behaupte, sie wird induktorisch durch die geistige Vorstellung eines solchen fremden Objektes mit hervorgerufen (§. 9 No. 7).

Am leichtesten vermag man diese künstliche Akkommodation auf ein fremdes Objekt oder die Tendenz dazu auszuführen oder sich ein Objekt sinnlich zu vergegenwärtigen, wenn das Auge geschlossen, also ungestört ist. (Unter den geschlossenen Augenlidern empfindet man deutlich die Veränderung, wenn man das Auge näher oder entfernter akkommodirt). Schwieriger ist es, sich unter dem Lichteindrucke der Gegenstände eines wirklichen Gesichtsraumes ein fremdes Objekt lebhaft vorzustellen, weil diese Eindrücke kräftiger, als das innere Bestreben den Sehnerven zu einer bestimmten Thätigkeit nöthigt. Diese Schwierigkeit vermindert sich, ja es tritt dafür wesentliche Erleichterung an die Stelle, wenn das fremde Objekt mit dem dem Auge vorgehaltenen Objekte nahezu übereinstimmt. Dieser Fall liegt aber bei der Betrachtung eines perspektivischen Bildes vor. Der Eindruck eines solchen Bildes kömmt also dem des abgebildeten Objektes dadurch so nahe, dass man durch Vergegenwärtigung des darzustellenden Objektes das Auge bei der Betrachtung des Bildes an das eigentliche Objekt so gut als möglich akkommodirt. Die Möglichkeit Diess zu thun, setzt Bekanntschaft mit dem wahren Objekte, d. h. mit den hauptsächlichen geometrischen Eigenschaften desselben, z. B. mit der Rechtwinkligkeit der Gebäude voraus. Ohne eine solche Bekanntschaft kann dem Auge die nöthige Unterstützung nicht gewährt werden: ein Wilder, welcher niemals die Kunstschöpfungen der zivilisirten Welt gesehen hätte, ein Kind, welches noch keine Vorstellung für dergleichen Dinge hat und ein zum ersten Sehen gelangender Blinder würde auch durch eine perspektivische Darstellung keine vollständige Vorstellung von jenen Objekten erhalten. Allerdings liegt in der Kontrastwirkung zwischen dem Grossen und Kleinen eine gewisse, rein materielle Induktion zu entsprechender Akkommodation: allein dieselbe ist doch im Allgemeinen sehr ungenügend, um eine richtige Akkommodationstendenz hervorzurufen. Anders ist es schon, wenn die Wirkung von Licht- und Farbenkontrasten mit zu Hülfe genommen wird.

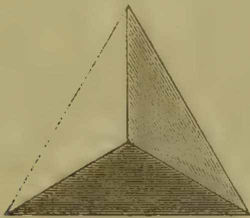
Als einfachen Beleg für diese Wirkung der geistigen Vorstellung nehme ich auf Fig. 189 Bezug. Das dargestellte Bild erscheint, wenn sich das Auge auf die Fläche des Papiers akkommodirt, als ebene Figur. Man kann aber auch, wenn man will, eine Pyramide darin erblicken und zwar auf zweierlei Weise. Richtet man das Auge (womöglich unter Schliessung oder Verdeckung des anderen) auf die Spitze *a* und akkommodirt dasselbe auf einen vor der Bildfläche liegenden Punkt, indem man z. B. eine Nadelspitze in die Sehlinie bringt und diese Spitze fixirt oder auch ohne alle Hülfsmittel durch einen bei einiger Übung, namentlich aber bei der geistigen Vergegenwärtigung einer Pyramide mit vortretender Spitze sich leicht ausübenden Zwang; so erhält man den Anblick einer Pyramide mit vortretender Spitze. Sucht man dagegen das Auge für einen hinter der Bildfläche liegenden Punkt zu akkommodiren, was sich besonders durch Vergegenwärtigung einer Pyramide mit

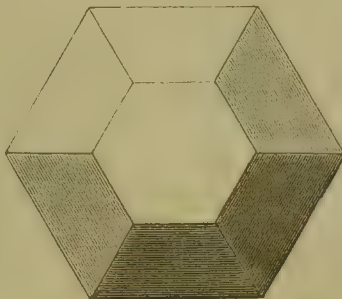
Fig. 189.



rücktretender Spitze erleichtert; so gewinnt man den Anblick einer ıhlen Pyramide.

Dieser optische Effekt kann übrigens, wie schon erwähnt, wesent-h durch eine angemessene Vertheilung der Helligkeit über das Bild


Fig. 190.


Fig. 191.

ır durch Schattirung desselben nach Fig. 190 und 191 erhöht wer-:. Über diese Wirkung der Lichtperspektive, sowie auch über die rrbenperspektive verschieben wir jedoch die Betrachtungen auf ı12.

6. **Praktische Regeln für die Perspektive.** Eine perspektivi-e Zeichnung kann nur von einem einzigen Punkte, dem Augen-ıkte aus betrachtet, einen richtigen Effekt machen. Bei der Ent-ffung einer solchen Zeichnung ist es also wichtig, die Entfernung des genpunktes von der Bildfläche unter praktischer Berücksichtigung der stände, unter welchen das Bild beschaut werden soll, zu wählen. Aus Nichtbeachtung dieser Bedingung entstehen so viele Bilder, welche glich mit Rücksicht auf ein gewisses Papierformat gemacht, aber Beschauung ganz ungeeignet sind, weil sich das Auge entweder ıine viel zu geringe Nähe, aus welcher keine Beschauung mehr mög-oder doch sehr unbequem ist, oder weil sich dasselbe in eine zu sse Entfernung, für welche das Bild viel zu lichtschwach ist, um lich wahrnehmbar zu sein, begeben müsste.

Nur vom richtigen Augenpunkte aus, welcher bei kleinen Bildern ı nur von einem einzigen Auge eingenommen werden kann, während andere geschlossen oder verdeckt wird, erscheinen die parallelen und twinkligen Linien der Gebäude richtig als solche. Von jedem anderen enpunkte aus erscheinen die Parallelen als Konvergenten und die rech-Winkel als spitze oder stumpfe: denn man überzeugt sich leicht, dass Bild nur von einem einzigen Augenpunkte aus die perspektivische ektion eines über Eck gesehenen vertikalen Parallelepipediums sein ı und dass dasselbe von jedem anderen Punkte aus einem verschobenen, förmigen Körper angehört, wenn es auch unendlich viel verschiedene einander unähnliche Körper dieser Art giebt.

Ein zweiter, übrigens weniger nachtheiliger und auch sonst verzeih-rer Verstoss gegen die Naturwahrheit ist die Schärfe und Kräf-keit der Linien einer in grosser Nähe zu betrachtenden perspek-chen Zeichnung, namentlich die Gleichmässigkeit der Schärfe

aller Linien. Was dem Blicke auf das wirkliche Objekt nicht me
erreichbar ist, darf auch im Bilde nicht mit so kräftigen Zügen darg
stellt werden, dass es daselbst hervortritt. So würde es ein Fehler sei
in einer Zeichnung die einzelnen Ziegeln des Daches eines entfernten G
bäudes zu markiren oder die Details und Linien eines sehr tief zurüc
springenden Bauwerkes an den entferntesten Stellen ebenso kräftig da
zustellen, wie an den nächsten.

Um von einer perspektivischen Darstellung, und jedes ebene Bil soll eine solche sein, den vollständigsten Effekt zu erhalten, muss ma ein Auge verdecken und das andere genau in den Augenpunkt bringe hierauf aber nicht die Bildfläche fixiren, sondern das Auge so we wie möglich, d. h. möglichst auf die Entfernung des dargestellten O jektes akkommodiren. Das letztere Bestreben wird durch den A schluss alles Seitenlichtes oder durch die Versetzung des Auges einen dunkelen Raum unterstützt und durch eine lebhafte Vergege wärtigung des Objektes vervollständigt. Theils wegen des A schlusses des Seitenlichtes, theils wegen der Beseitigung aller störend Nebenobjekte und insofern wegen der Erleichterung der geistigen Vo stellung des Objektes erhöht der Blick durch die hohle Hand so se den perspektivischen Effekt. Dieser Effekt ist nicht der durch die Ha gebildeten kleinen Öffnung zuzuschreiben: die Kleinheit der Öffnu wirkt sogar nachtheilig, nämlich verkleinernd (§. 38 No. 3) und darf dah nicht so weit getrieben werden, dass sie den vergrössernden Effekt d Verdunklung und den allgemeinen Effekt der Verdeutlichung durch d Abgeschlossenheit überwöge. Übrigens bringt der Gebrauch nur ein Auges auch desshalb einen grösseren perspektivischen Effekt hervor, w sich ein Auge, wenn das andere verdeckt ist, von selbst entfern akkommodirt, indem sich der Konvergenzwinkel beider Augenaxen ve mindert (§. 22 No. 6).

Schliesslich wird hervorgehoben, dass die Verdopplung des perspe tivischen Bildes im Stereoskope darum eine so wesentliche Erhöhu der optischen Wirkung zur Folge hat, weil das Bild für das zweite Au die Unbestimmtheit des Objektes, welche bei dem Bilde für das ers Auge besteht, vollständig aufhebt, also die Akkommodation des Aug auf das ideelle Objekt ganz bedeutend erleichtert.

Das perspektivische Bild darf streng genommen nur mit eine Auge, nicht mit zweien betrachtet werden. Diess ist nicht bloss dessha nothwendig, weil es unmöglich ist, mit beiden Augen den geometrisch Augenpunkt einzunehmen, sondern wesentlich desshalb, weil die Akkomm dation nicht auf die Bildfläche, sondern auf einen entfernteren Pun geschehen muss, was bei dem Gebrauche beider Augen stets ein Do pelbild erzeugen würde.

Die Perspektive ist daher die Stereoskopie für ein Au und die Stereoskopie ist die Perspektive für zwei Augen.

§. 26.

Scheinbare Lichtstärke.

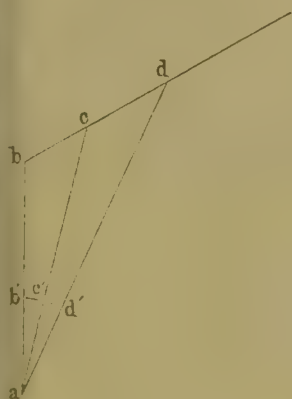
1. **Konstanz der scheinbaren Lichtstärke.** Die Lichtstärke, in elcher wir einen Gegenstand erblicken, hängt — richtige Akkommodaon vorausgesetzt — von der Lichtmenge ab, welche derselbe in unser uge sendet, also zunächst von seiner absoluten Lichtstärke, alsdann er von seiner Entfernung. Mit zunehmender Entfernung wird die ichtmenge, welche jener Gegenstand auf die Fläche unserer Pupille irft, wenn die Pupille eine konstante Öffnung behält, im Quadrate der ntfernung geringer. Diese kleinere Lichtmenge vertheilt sich alsdann er auf ein mit zunehmender Entfernung sich verkleinerndes Netzautbild.

Das Netzhautbild verkleinert sich im Allgemeinen nahezu ebenfalls n Quadrate der Entfernung. Demnach bleibt die Helligkeit des Lichtldes pro Flächeneinheit dieselbe, d. h. die Gegenstände, welne eine gleiche absolute Lichtstärke haben, erscheinen uns ns allen Entfernungen gleich hell, insofern die Mängel der kkommodation nicht eine Modifikation bewirken.

Vorstehendes gilt nicht bloss von einem Gegenstande, welchen wir ets in derselben Richtung gegen unser Auge in verschiedener Entrnung erblicken, sondern auch von den einzelnen Theilen desselben Körers und von verschiedenen Körpern, welche wir gleichzeitig erblicken, vorusgesetzt nur, dass alle Flächen dieser Körper eine gleiche absolute ichtstärke haben.

Was zunächst die einzelnen Theile ein und derselben ebenen Fläche d (Fig. 192) von gleicher absoluter Helligkeit, welche gegen die Augenaxe geneigt ist, also verschiedene Entfernungen ab, ac, ad darbietet, betrifft; so ist der Effekt der von dieser Fläche ausgehenden Strahlen auf die Oberfläche einer Kugel $b'c'd'$, deren Mittelpunkt der Mittelpunkt des Auges a ist, für irgend einen Theil cd jener Fläche der Basis $c'd'$ der Pyramide $ac'd'$ proportional. Sind nun $b'ac'$, $c'ad'$ kleine gleiche Winkel; so sind $b'c'$, $c'd'$ gleich grosse Flächen des Lichtbildes auf der Netzhaut. Man sieht also, dass gleiche Flächen des Lichtbildes stets gleiche Lichtmengen erhalten, dass also der schwächende Effekt der grösseren Entfernung der Fläche cd gegen die der Fläche bc durch den verstärkenden Effekt der Vergrösserung der Fläche cd gegen die Fläche bc vollkommen usgeglichen wird. Das Lichtbild der Fläche bd ist also pro lächeneinheit gleich stark erleuchtet; die Fläche erscheint

Fig. 192.



uns daher überall gleich stark erhellt. Dieses Grundgesetz erleidet nur eine Modifikation durch die Mängel der Akkommodation.

Was soeben von einer ebenen Fläche *bd* gesagt ist, gilt auch von einer krummen und gebrochenen Fläche und überhaupt von einer Gesammtheit isolirter Flächen, also von mehreren Objekten von gleicher absoluter Lichtstärke in verschiedenen Entfernungen.

2. Konstanz der scheinbaren Grösse und Lichtstärke. Die Gleichmässigkeit der scheinbaren Lichtstärke hat ihren Grund darin, dass das Lichtbild auf der Netzhaut sich bei zunehmender Entfernung des Objektes verkleinert, sodass die Strahlen, indem sie schwächer werden, zugleich enger zusammengedrängt werden, und umgekehrt. Diese Gleichmässigkeit der scheinbaren Lichtstärke verbindet sich mit der in §. 24 erörterten Gleichmässigkeit der scheinbaren Grösse eines Objektes bei wechselnder Entfernung zu einem sehr beachtungswerthen Resultate, welches den Effekt hat, dem Menschen einen von seinem augenblicklichen Standpunkte möglichst unabhängigen, gleichmässigen, ruhigen Anblick der Natur zu verschaffen. Ohne jene Einrichtung, d. h. wenn die scheinbare Grösse dem Sehwinkel und die scheinbare Lichtstärke dem umgekehrten Quadrate der Entfernung proportional wäre, würde der Blick in die Natur für einen darin sich bewegenden Menschen, ja sogar der Blick in die nächste Umgebung für ein den gewöhnlichen Bewegungen des Kopfes folgendes Auge dem Eindrucke gleich kommen, welchen ein Kaleidoskop oder ein Nebelbild gewährt, einem Eindrucke der Unruhe, der fortwährend lebhaften Verwandlung von Figuren und Farben.

Abgesehen von diesem besonderen Effekte muss übrigens aus viel allgemeineren Gründen der Organismus unsere höchste Verwunderung erwecken, welcher uns befähigt, einen äusseren Gegenstand stets in seiner wahren Grösse, Form, Helligkeit und Farbe, also überhaupt in allen seinen wahren Eigenschaften zu erkennen, gleichviel wie nahe oder wie fern derselbe von uns ist. Das Auge trägt uns in die entferntesten Räume, macht uns in jedem Punkte der Natur gegenwärtig und lässt uns von einem Standpunkte aus das Weltall in seiner Totalität empfinden. Das wenigstens ist der ideale Plan des Organismus, welcher nur durch die allem Irdischen anhaftende Unvollkommenheit getrübt, nicht aber in seinem Grundprinzipe erschüttert wird.

3. Allgemeine Beziehung zwischen der Seh- und der Akkommodationsthätigkeit. Die Unvollkommenheit des Organismus, welche dem Auge nicht gestattet, sich auf ein ganz nahes Objekt nahe genug und auf ein sehr entferntes weit genug zu akkommodiren, welche also bewirkt, dass die ganz nahen Objekte wegen des zu weit akkommodirten Auges zu entfernt und zu gross und die sehr entfernten Objekte wegen des zu nahe akkommodirten Auges zu nahe und zu klein erscheinen, macht sich auch bei der Wirkung der Lichtstärke geltend.

Wir vermögen weder die höchsten, noch die niedrigsten Lichtstärken richtig zu beurtheilen. Die höchsten, welche bei genügender

teigerung sogar eine materielle Beschädigung des Sehnerven (Blendung) ervorbringen, erscheinen uns nicht stark genug oder zu schwach esp. zu dunkel); die niedrigsten dagegen zu stark (resp. zu hell).

Der Grund hiervon liegt in der Abhängigkeit des Urtheils über ie Lichtstärke von der Akkommodation. Ich behaupte, dass ch mit der Erhöhung der Akkommodationsthätigkeit uch die eigentliche Sehthätigkeit steigert, dass also ie Belebung des Prozesses der motorischen Akkommodaonsnerven induktorisch eine Erhöhung des Prozesses er Sehnerven nach sich zieht und dass auch das umgehrte Verhältniss stattfindet, dass also induktorisch e Sehthätigkeit auch die Akkommodationsthätigkeit lebt.

Die Induktionswirkung zwischen der Intensität des Nervenprozesses s Sehnerven und der Thätigkeit des motorischen Akkommodaonsapparates ist sehr begreiflich. Die Akkommodation wird ja leglich und allein durch den Sehnerven und zwar in Folge des darin rch die Lichtvibrationen erweckten Prozesses veranlasst, um eine vollndige Konzentration des Lichtreizes der einfachen Strahlen eines ahlenkegels auf einen Punkt der Netzhaut oder vielmehr auf die beffende Nervenfaser, in welcher der Prozess vor sich geht, zu berken. Je lebhafter also dieser Prozess ist, desto genauer und kräftiger rd der Akkommodationsapparat funktioniren.

Vermöge dieser Verbindung, welche zwischen den Sehnerven und m Akkommodationsapparate besteht, wird dann aber auch umgekehrt e Verstärkung der Akkommodationsthätigkeit eine Belebung des entlichen Sehnervenprozesses zur Folge haben.

Aus diesem Gesetze ergiebt sich sofort die Erklärung verschiedener scheinungen.

4. Mittlere Lichtstärke und mittlere Sehweite. In der mittn Sehweite von etwa 250 Mm. ist die Akkommodation am vollkommen. In dieser Weite beurtheilen wir also auch die Lichtstärke am tigsten.

Übrigens leuchtet ein, dass eine gewisse Lichtstärke die günstig ist: diese nennen wir die mittlere; sie entspricht der Beleuchng durch indirektes Sonnenlicht oder der Tageshelle.

Die normalsten Verhältnisse für das Auge walten ob bei der Behtung eines Objektes von mittlerer Lichtstärke aus der mittleren Sehte.

Rückt ein Objekt ohne Veränderung seiner Lichtstärke näher; so sste es uns eigentlich nach No. 1 und 2 fortwährend gleich intensiv heinen. Da sich jedoch mit der Annäherung die Akkommodationstrengung erhöht, wird das Objekt scheinbar intensiver. Umgert vermindert sich die scheinbare Lichtstärke mit der Entferng.

Obgleich das uns näher rückende Objekt seine scheinbare Lichtke erhöht; so bleibt diese Lichtstärke, wenn die Entfernung unter mittlere Sehweite herabsinkt, doch kleiner, als sie sein müsste,

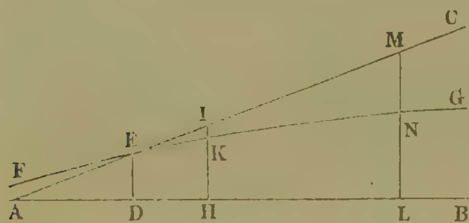
also absolut genommen zu schwach, weil nach §. 24 die Akkommo-dation des Auges an die so kleinen Sehweiten zu schwach (oder z weit) ist. Umgekehrt erscheint uns das sich entfernende Objekt, obgleic seine Lichtstärke sinkt, doch zu hell, sobald es die mittlere Sehweit überschreitet, weil das Auge alsdann zu stark (oder zu nahe) akkom modirt ist.

Das näherrückende Objekt wird also intensiver (res heller) und das sich entfernende matter (resp. dunkler jene Erhellung und diese Verdunklung findet jedoch nich in dem Maasse statt, wie es geschehen würde, wenn sic das Auge auf jede Entfernung richtig akkommodirte.

5. Verhältniss zweier Lichtstärken zueinander. Aus Obige erklärt sich ferner, dass die Verdopplung der Lichtstärke, z. I die Erhellung eines Objektes durch die doppelte Anzahl von Lichter nicht einen doppelt so starken, sondern einen schwächere physiologischen Effekt, und die Halbirung einer Lichtstärke nicht de halben, sondern einen stärkeren Effekt hervorbringt.

Wenn nämlich in Fig. 193 die Ordinaten HJ der geraden Linie A die sukzessiven wirklichen Lichtstärken darstellen; so bezeichnen di entsprechenden Ordinaten H der Kurve FEG die schein baren Lichtstärken. Diese Kurv geht bei E durch den Punkt d mittleren Lichtstärke, is überall konkav und nähert sic auf der rechten Seite einer z AB parallelen Asymptote. Is nun $AL = 2 \cdot AH$ oder di wirkliche Lichtstärke L $= 2 \cdot HJ$; so ist die scheinbare Lichtstärke $LN < 2 \cdot HK$ und um gekehrt $HK > 1/2 \cdot LN$.

Fig. 193.



Eine fortgesetzte Steigerung der Lichtstärke führt sogar endlich z einer Grenze, wo die Affektion des Lichtes die Konstitution des Sel organs bedroht. Alsdann wächst die scheinbare Lichtstärke in imme schwächer werdendem Verhältnisse, erreicht endlich ein absolutes Maxi mum und sinkt alsdann, trotz der Erhöhung der wirklichen Lichtstärk abwärts, indem sich nunmehr Beschädigung des Organs (Blendung einstellt.

Aus diesem Grunde erscheint uns beim Blicke in die helle Sonne fü die kurze Zeit, wo wir diesen Blick überhaupt zu ertragen vermögen, di Sonnenscheibe dunkler als der umgebende Lichtschein, we cher theils aus der erleuchteten Luft, theils aus der Affektion der da Netzhautbild umgebenden Partien des Auges entspringt. Sobald jedoc das Sonnenlicht durch einen Schleier oder einen ähnlich wirkende Körper gemässigt wird, erscheint die Sonnenscheibe heller als jene umgebende Schein.

Wenn das Auge gleichzeitig den Eindruck verschiedener Licht

irken empfängt; so entsteht eine ganz andere Wirkung, eine sogenannte ontrastwirkung, welche wir erst weiter unten untersuchen werden.

6. **Einfluss der Lichtstärke auf den Zustand des Auges und f die scheinbare Entfernung.** Die nächste Wirkung der vermehrten chtstärke auf die Form- und Dichtigkeitsverhältnisse des Auges haben r uns folgendermaassen vorzustellen.

Diese Wirkung besteht im Wesentlichen oder prinzipiell nicht einer Veränderung der Akkommodation, sodass eine Veränderung r scheinbaren Sehweite und Grösse dadurch bezweckt würde, sondern einer strafferen Einstellung aller Organe in den richtigen Akmmodationszustand, also in einer Verbesserung oder Vervollommnung der Akkommodation. Wie erhöhte Lichtstärke oder verhrter Lichtreiz sowohl das ungenügend verlängerte Auge weiter rlängern und auch das ungenügend verkürzte Auge weiter rkürzen könne, begreift sich durch die Bemerkung in §. 16 No. 7, nach der Normalzustand des Auges, welchen es am meisten geneigt anzunehmen, der Akkommodation auf die mittlere Sehweite (nicht f unendliche Entfernung) entspricht. Demnach ist eine angemessene Steirung des Lichtreizes sowohl bei entfernten Objekten, auf welche das ige zu nahe akkommodirt ist, als auch bei sehr nahen Objekten, auf lche das Auge zu weit ist, dienlich, um die Akkommodation zu versern.

In Folge angemessener Erhöhung einer bis dahin ungenügenden chtstärke wird also ein sehr nahes Objekt, welches zu weit erschien, herrücken und ein entferntes Objekt, welches uns zu nahe erschien, rd weiterrücken. Der Gesammteffekt der vermehrten Lichtrke ist jedoch aus den vorstehenden und zwei anderen Wirkungen zummengesetzt.

Die Veranlassung zur genaueren Akkommodation bei gesteigerter chtstärke entspringt nur aus dem Umstande, dass die Zerstreuungseise kräftiger werden. Man kann nun annehmen, dass bei den mittren Lichtstärken die Zusammenführung der einzelnen Farben und die nstellung der Netzhaut immer mit einem verhältnissmässig hohen Grade n Genauigkeit stattfindet und dass wesentlich nur die Aberration, mlich die Vereinigung der Rand- und Zentralstrahlen in einem Punkte ngelhaft ist, dass auch behuf der Konzentration aller Strahlen auf einen nkt alles Dasjenige, was die Netzhaut und die brechenden Meen dazu beizutragen vermögen, in verhältnissmässig hohem Grade beits geleistet ist, dass also die weitere Verbesserung der Aberration wentlich nur noch durch Verengung der Pupille bewirkt werden nn.

Die erhebliche Zusammenziehung der Pupille bei wachsender Lichtirke eines schon ganz deutlich und scharf erscheinenden Objektes lässt rauf schliessen, dass diese Annahme zutreffend ist. Da nun durch die rengung der Pupille die Randstrahlen abgeschnitten, also dienigen Theile des Brennkörpers (§. 8 No. 14), welche am weiteen von der Netzhaut entfernt liegen, unwirksam gemacht werden, ne dass die Spitze des Brennkörpers geändert wird; so muss noth-

wendig ein Zurückweichen der Netzhaut oder eine Verlängerung der Augenaxe eintreten, weil sich die Netzhaut doch nahezu in den optischen Schwerpunkt des Brennkörpers zu stellen strebt und dieser Punkt sich von der Linse entfernt. Überhaupt aber ist Verengung der Pupille ein Akt der Akkommodation auf nähere Entfernung, folglich induktorisch mit einer Verlängerung der Augenaxe verbunden.

Vermöge dieses Umstandes tritt also bei nahen wie bei fernen Objekten eine Akkommodation auf nähere Entfernung ein, welche uns das Objekt näher erscheinen lässt. Diese Wirkung wird durch die vorher besprochene bei nahen Objekten noch erhöht und bei fernen etwas ermässigt, sodass im Allgemeinen jedes Objekt bei gesteigerter Lichtstärke näher zu rücken scheint.

Ausser diesen beiden hat nun meines Erachtens die vermehrte Lichtstärke eine dritte Wirkung, welche in einer allgemeinen Kontraktion des Auges, also in einer Verdichtung der Linse und des Glaskörpers, sowie in einer Verkürzung der Augenaxe besteht. Diese allgemeine Kontraktion ist mit dem Gefühle der stärkeren Akkommodationsanstrengung, also ebenfalls mit scheinbarer Annäherung verbunden.

Hiernach scheint uns also das intensiver werdende Objekt näher zu rücken, wie umgekehrt nach No. 3 das näher kommende Objekt intensiver erscheint. Ebenso scheint das lichtschwächer werdende Objekt sich zu entfernen und nach No. 3 das sich entfernende Objekt lichtschwächer zu werden.

7. Verlängerung der mittleren Sehweite bei wachsender Lichtstärke. Da das lichtstärkere (resp. hellere) Objekt die Augenaxe verlängert; so wird der Zustand des Auges, welcher der besten Akkommodation, der vollkommensten Harmonie zwischen allen Theilen des Auges entspricht, bei einem stärker leuchtenden Objekte in einer grösseren Sehweite (welche bei gleicher Lichtstärke eine kürzere Augenaxe bedingen würde) eintreten, als bei einem schwächer leuchtenden. Die mittlere Sehweite, d. h. die Entfernung, in welcher das Auge am vollkommensten sieht, verlängert sich also mit wachsender Helligkeit des Objektes, was bereits im §. 17 konstatirt ist.

8. Einfluss der Lichtstärke auf die scheinbare Grösse. Mit zunehmender Lichtstärke wächst selbstverständlich auch die Kraft der aberrirenden Strahlen. Demgemäss verengt zwar das Auge bei zunehmender Lichtstärke die Pupille und beschränkt auf diese Weise die Ausdehnung der Aberrationskreise: allein da ein Gegenmittel, welches zur Aufhebung eines Reizes eben durch diesen Reiz selbst hervorgerufen wird, niemals eine vollständige Aufhebung bewirken kann, weil ja bei vollständiger Aufhebung des Reizes die erzeugende Ursache für das Gegenmittel gänzlich fehlen würde; so wird immer die Verstärkung der Aberration, welche in der vermehrten Intensität der Strahlen liegt, etwas bedeutender sein, als die Schwächung der Aberration, welche aus der Verengung der Pupille und der Beschränkung der Aberrationskreise hervorgeht. Verstärkung der Aberration erzeugt aber nach §. 24 No. 19 scheinbare Vergrösserung des Objektes.

Hierzu kömmt noch, dass bei einem Objekte, welches nicht in einem fachen leuchtenden Punkte, sondern in einem Gegenstande von Aushnung besteht, mit zunehmender Helligkeit die schrägen Strahlenndel umso energischer ihre Wirkung ausüben, welche in einer Konrrenz gegen das axiale Bündel behuf Herstellung der ellipsoidischen m der Linse beruht (§. 8 No. 23). Mit einer mehr ellipsoidischen m ist aber nach §. 24 No. 19 ebenfalls scheinbare Vergrösserung des jektes verbunden.

Aus Vorstehendem ergiebt sich, dass sich das lichtstärker werde Objekt zu vergrössern und das lichtschwächer werdende zu kleinern scheint.

Dieser Effekt stützt sich lediglich auf die Wirkung der Aberration. darf jedoch nicht die Wirkung der veränderten Akkommodationsstrengung ganz ausser Acht bleiben. Da wachsende Lichtstärke nach . 6 eine Verlängerung der Augenaxe oder eine Steigerung der Akkomdationsanstrengung herbeiführt; so erzeugt dieselbe nicht bloss die in . 6 erwähnte scheinbare Annäherung, sondern auch die damit prinell verbundene scheinbare Verkleinerung. Diese Verkleinerung steht Vergrösserung durch die Aberration entgegen. Unter gewöhnlichen hältnissen, d. h. bei Lichtstärken von mittlerer Intensität ist der rgrössernde Effekt der Aberration überwiegend und wird nur ch den letzteren Effekt der veränderten Akkommodationsanstrengung, cher nicht bedeutend sein kann, etwas gemässigt. Bei ungewöhnher, also bei sehr starker oder sehr schwacher Intensität gewinnt och der letztere Effekt die Oberhand.

Bei sehr hohen Lichtstärken wird der Lichtreiz, welcher ja schliessn sogar Blendung erzeugt, so stark, dass die verkleinernde Wirkung Intensitätsverstärkung und die verkleinernde Wirkung der Einschnüg der Pupille, welche beide Wirkungen direkt die Akkommodationstrengung erhöhen, den vergrössernden Effekt der Aberration überwiegt. der Überschreitung dieser oberen Intensitätsgrenze entsteht also eeinbare Verkleinerung.

Bei ganz niedrigen Lichtstärken ist der Lichtreiz so schwach, dass Pupille weit geöffnet bleibt. Alsdann überwiegt häufig die vergrösnde Wirkung der Aberration alle übrigen Effekte und erzeugt scheine Vergrösserung.

Hiernach kann man sagen, dass innerhalb einer unteren d oberen Intensitätsgrenze die Erhöhung der Lichtstärke heinbare Vergrösserung und die Erniedrigung der Lichtirke scheinbare Verkleinerung erzeugt. Die scheinbare Verösserung hat jedoch ein Maximum, welches der oberen Insitätsgrenze entspricht und ebenso hat die scheinbare Vereinerung ein Minimum, welches der unteren Intensitätsenze angehört.

Innerhalb der eben gedachten beiden Intensitätsgrenzen hat aber ht bloss eine Erhöhung der Lichtstärke eine scheinbare Verösserung zur Folge, sondern umgekehrt bewirkt Vergrösserung Objektes auch meistens eine scheinbare Vermehrung der Lichtirke desselben, weil nun eine grössere Anzahl von Fasern des Seh-

nerven in eine gleiche Thätigkeit versetzt werden, was eine gegenseitige Unterstützung, eine grössere Regelmässigkeit und zugleich eine vollkommnere oder normalere Akkommodation des Auges in allen seinen Theilen zur Folge hat.

9. Wirkung der Zerstreuungskreise bei mangelhafter Akkommodation auf die scheinbare Lichtstärke. Damit das Licht seine volle und normale physiologische Wirkung auf das Auge hervorbringen könne, muss dasselbe in einem ganzen, symmetrischen Lichtkegel eindringen, dessen Strahlen genau auf der Netzhaut konvergiren, überhaupt muss das Auge auf das betreffende Lichtbündel, also auch auf die Entfernung seines Ausgangspunktes genau akkommodirt sein. Übrigens ist mit dem wirklichen Zustandekommen der Akkommodation der höchste Grad der vollkommenen Empfänglichkeit des Auges verbunden. Wenn diese Akkommodation nicht vollständig erreicht, wohl aber erstrebt wird; so äussert sich schon eine sehr wahrnehmbare Erhöhung jener Empfänglichkeit im Vergleich zu dem Zustande, wo das Auge durch Nichts veranlasst wird, seine Aufmerksamkeit einem Objekte zuzuwenden. Die der Akkommodation vorausgehende Spannung oder der durch die Lichtaffektionen erzeugte Reiz zu jener Akkommodation ist schon hinreichend, um das Auge für die Lichtwirkung fast ebenso empfänglich zu machen, wie es bei voller Akkommodation der Fall ist. Dieses entspricht den Ansichten, welche wir hinsichtlich des Urtheils über die Entfernung vorgetragen haben, ein Urtheil, welches in grösster Vollständigkeit bei vollkommener Akkommodation, mit annähernder Genauigkeit aber auch bei unvollkommener Akkommodation gebildet wird.

Die scheinbare Lichtstärke eines Objektes wird in gewissem Grade durch den Akkommodationszustand des Auges beeinflusst.

Es leuchtet zwar schon von selbst ein, dass wenn ein Lichtbündel nicht genau in der Stäbchenschicht konvergirt, seine Lichtwirkung sich nicht auf ein einziges Stäbchen konzentriren, sondern deren mehrere treffen, folglich einen Zerstreuungskreis bilden wird, dessen einzelne Punkte viel schwächer affizirt sind, also den Eindruck geringerer Lichtstärke machen werden.

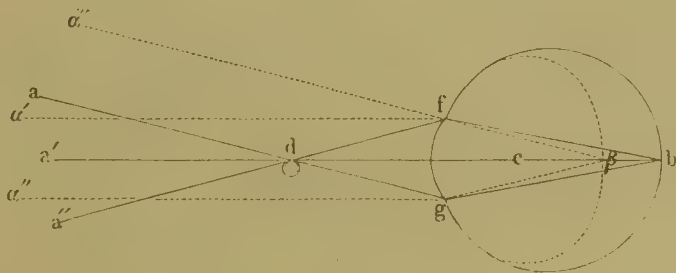
Allein hierin liegt nicht der alleinige und auch nicht der Hauptgrund der verminderten scheinbaren Lichtstärke. Dieselbe ist meines Erachtens in der mit der mangelhaften Akkommodation verbundenen geringeren Empfänglichkeit des Auges für die Lichtwirkung zu suchen. Man könnte einem Stäbchen ebenso viel, ja noch viel mehr einfache Lichtstrahlen zuführen, als ein konzentrirtes Lichtbündel enthält: wenn jene Strahlen nicht einunddemselben, sondern verschiedenen Bündeln angehören, wenn mithin das Stäbchen nicht in den normalen Verhältnissen eines symmetrisch eindringenden Lichtkegels affizirt wird, sich also auch nicht auf jene Strahlen gehörig akkommodiren, ja, aus der unregelmässigen Affektion nicht einmal die Anreizung zu dieser Akkommodation empfangen kann; so wird dieselbe, und sogar eine viel grössere absolute Lichtmenge doch den Eindruck einer geringeren Menge oder den Eindruck eines dunkleren Objektes hervorbringen.

10. Bestätigender Versuch. Diese Behauptung findet ihre direkte Bestätigung darin, dass uns ein kleiner undurchsichtiger Körper, nämlich ein Körper, welcher erheblich kleiner ist als die Pupille, z. B. ein feiner Nadelknopf, wenn derselbe gegen den hellen Himmel gehalten wird, sichtbar ist und als ein sehr dunkeler Körper erscheint. Wenn die Pupille 4 Millimeter und das Objekt 1 Millimeter Durchmesser, also nur den 16ten Theil des Flächenraumes der Pupille hat; so wird die Netzhautstelle, wo sich das Bild dieses Objektes entwirft, durch die hinter dem Objekte herkommenden parallelen Lichtbündel doch mindestens $^{15}/_{16}$ (streng genommen einen noch viel grösseren Antheil) derjenigen Lichtmenge erhalten, welche alle übrigen Theile der Netzhaut bestrahlt. Das Bild des Objektes müsste also fast ebenso hell erscheinen, als der Himmel: dasselbe erscheint aber fast schwarz. Dieser Eindruck würde sich durchaus nicht erzeugen können, wenn nicht das Auge auf die schwachen Strahlen jenes dunkelen Objektes, weil es darauf akkommodirt ist oder sich darauf zu akkommodiren trachtet, weit stärker reagirt, als auf diejenigen Strahlen des hellen Himmels, welche gleichzeitig dieselbe Stelle der Netzhaut treffen, auf welche aber das Auge nicht akkommodirt ist.

Erst seitwärts vom Bilde jenes Objektes, wo kein anderes Objekt die Akkommodationsthätigkeit des Auges in Anspruch nimmt, gelangen die Strahlen des hellen Himmels zu ihrer Wirkung, indem sich das Auge darauf akkommodirt oder zu akkommodiren strebt.

Ich muss hierbei hervorheben, dass die Aufmerksamkeit des Auges auf das vorstehende Objekt weit weniger durch die von diesem Objekte ausgehenden, als vielmehr durch diejenigen Strahlen hervorgerufen wird, welche das Bild der Grenze des Objektes im Auge entwerfen und welche eigentlich gar nicht von diesem Objekte, sondern von dem hellen Hintergrunde herstammen. Denn die an der Kante d des Objektes vorbeistreifenden Strahlen $a\,d, a'\,d, a''\,d$ (Fig. 194) bilden im Auge ein kegelförmiges Lichtbündel, welches sich wie ein von einem leuch-

Fig. 194.



tenden Punkte d herkommendes verhält. Das Objekt könnte also vollkommen dunkel sein; das Auge würde sich doch auf seine Kontur und damit innerhalb des Bereiches des Netzbildes von dem Objekte auf die Entfernung dieses Objektes akkommodiren oder zu akkommodiren streben.

Es könnte auffallend erscheinen, dass das Auge bei fehlendem Ob-

jekte in Beziehung zu irgend einem Punkte wie d nur solche Strahlen der Lichtquelle wie ein zusammengehöriges Bündel auffasst, welche der von d durch den Kreuzungspunkt c im Auge gehenden Axe parallel sind, dass aber beim Dazwischentreten des dunkelen Objektes d solche Strahlen eben derselben Lichtquelle wie ein zusammengehöriges Bündel betrachtet werden, welche sich in dem Punkte d durchkreuzen. Es schiene fast, als ob hierbei eine Verstandesüberlegung thätig oder eine Lebenserfahrung maassgebend wäre. Keinenfalls. Die Thätigkeit des Auges beruht lediglich auf dem physiologischen Reize der Lichtstrahlen, welche sich in dem zweiten Falle ganz anders verhalten, als im ersten. Denn im ersten Falle werden alle Stäbchen der Netzhaut in gleicher Weise durch die von der entfernten Lichtquelle herkommenden Weise affizirt und zwar irgend eines wie b durch ein Bündel von Strahlen $\alpha' f$, $\alpha'' g$, welche mit der Axe $a' c b$ parallel sind. Nur auf dieses Bündel kann sich das Stäbchen zu akkommodiren trachten und es folgt dieser Neigung in Gemeinschaft mit den übrigen, indem die Netzhaut die Form $f \beta g$ annimmt. Im zweiten Falle werden die Stäbchen in dem ganz erhellten Theile der Netzhaut anders, als an der Stelle, wo sich das Bild des Umfanges des Objektes entwirft, affizirt: in jenem Theile durch parallele Bündel, in dieser Umfangslinie jedoch durch konische Bündel wie dfg, was nothwendig einen verschiedenen Akkommodationsreiz für den hellen Hintergrund und für den Umfang des Objektes bedingt.

11. Licht- und Schattensäume. Das konische Lichtbündel dfg, dessen Basis die Pupille ist, und welches von dem nahen Punkte d auszugehen scheint, wird in Wirklichkeit kein ganz volles sein, d. h. je weiter nach dem Umfange der Kegeloberfläche hin, desto mehr werden die Strahlen wie adg und $a''df$ nicht mehr mit jenem konischen Bündel, sondern mit dem jenen Strahlen parallelen Bündeln sich vereinigen. Es wird also vom Umfange des Objektes aus nicht ein sofortiger, sondern ein allmählicher Übergang der Akkommodation auf den helleren Hintergrund stattfinden.

Wenngleich also das konische Bündel ada'' kein volles sein, sondern wahrscheinlich nur solche Strahlen enthalten wird, welche nur wenig von der Richtung dc abweichen; so wird dasselbe doch immer eine grössere Lichtmenge enthalten, als ein paralleles Bündel $\alpha' fg \alpha''$ von derselben Basis fg. Ausserdem ist klar, dass ein paralleles Bündel $\alpha''' fga$, dessen Axe steiler steht als die Linie adg, welches also durch das Objekt d gar keinen Strahl verliert, mehr Licht enthält, als ein schwächer geneigtes, welches schon Strahlen an das konische Bündel ada'' abgiebt.

Hieraus folgt, dass der helle Hintergrund um das Objekt herum erst einen helleren und dann einen dunkleren Saum bilden wird.

Betrachtet man das Objekt von seinem Umfange nach innen; so wird dasselbe, da die Akkommodation auf die nähere Entfernung cd lediglich durch die das Objekt streifenden Randstrahlen ada'' hervorgebracht wird, vornehmlich am Rande sehr dunkel erscheinen. Je weiter vom Rande, desto schwächer wird der Zwang zu dieser abnormen

Akkommodation, desto mehr werden also die Strahlen des hellen Hintergrundes, welche ja ebenfalls auf das Netzhautbild des Objektes fallen, zu ihrer eigenen Geltung kommen, d. h. innerhalb dieses dunkleren Saumes wird das Objekt nicht so dunkel erscheinen. Diese Aufhellung des Objektes wird aber einen hellen Saum bilden, dessen Helligkeit nach der Mitte des Objektes abnimmt: denn je weiter nach der Mitte, desto mehr vermindert sich in Folge der Absperrung durch das Objekt die Menge des Lichtes, welche in den parallelen Bündeln enthalten ist, die der helle Hintergrund auf das Netzhautbild des Objektes sendet.

Die Erscheinung eines Objektes vor hellem Hintergrunde besteht also darin, dass das Objekt im Allgemeinen dunkeler erscheint, als seiner absoluten Helligkeit entspricht. Am dunkelsten ist es am Rande: auf diesen dunkelsten Saum folgt ein heller Schein, welcher sich nach der Mitte hin allmählich verliert. Der helle Hintergrund erscheint in einem Saume um das Objekt heller als er ist: darauf folgt ein Schattensaum, welcher sich nach aussen hin allmählich verliert.

Die Ursache dieses mehrfachen Wechsels von Licht und Schatten liegt zwar theilweise in einer Variation der absoluten Lichtmenge, welche in den verschiedenen Gürteln die Netzhaut affizirt; jedoch vornehmlich ist dieser Wechsel, sowie besonders die scheinbare Intensität der einzelnen Säume durch die verschiedenen Akkommodationszustände des Auges bedingt und wir werden bei den Kontrasterscheinungen darauf zurückkommen.

12. Wirkung der Pupille. Wir haben noch der Pupille zu gedenken. Diese Öffnung kann sich nicht nach den Intensitäten der einzelnen Objekte richten, welche ihr Bild gleichzeitig in unser Auge werfen, sondern nur nach der Gesammtmenge des Lichtes, welche das Auge empfängt. Nur wenn das Gesichtsfeld in grossen Partien ungleichmässig erleuchtet ist, zeigt sich der Einfluss dieser Einzelpartien durch eine Abweichung der Pupille von der Kreisform.

Was aber die mittlere Lichtstärke des gesammten Gesichtsfeldes oder die Lichtstärke eines sehr grossen Objektes betrifft, welches nahezu dieses Feld ausfüllt; so erweitert sich die Pupille mit wachsender Entfernung dieses Objektes. Hierdurch gestattet sie einem grösseren Lichtbündel den Eintritt ins Auge, vermehrt also die scheinbare Lichtstärke, wogegen bei der Annäherung des Objektes das Umgekehrte, also Verminderung der Lichtstärke stattfindet.

Diese Veränderung der Lichtstärke findet nicht gleichzeitig, sondern nur bei der Verrückung des Objektes statt; ihre Phasen können also auch nicht deutlich miteinander verglichen werden. Ihr Effekt ist dem zuletzt beschriebenen entgegengesetzt, erreicht aber den Grad desselben nicht: es findet also unter der Konkurrenz dieser beiden entgegengesetzt wirkenden Ursachen bei der Entfernung des Objektes keine Vermehrung der Lichtstärke statt, sondern es wird nur die Verminderung der Helligkeit, welche aus der unvollkommenen Akkommodation entspringt, durch die Veränderung der Pupille etwas gemässigt.

Ebenso erweitert sich die Pupille, wenn die absolute Lichtstärke des Objektes ohne Veränderung der Entfernung abnimmt. Allein die Erweiterung des Strahlenkegels ist nicht so bedeutend, dass sie die Abnahme der Lichtstärke überwöge: man bemerkt diese Abnahme sehr deutlich. Ebenso erkennt man jede Zunahme der Lichtstärke trotz der sich verengenden Pupille.

Der Einfluss der Pupille auf die Lichtstärke besteht nach Vorstehendem darin, dass die Lichtstärke der entfernteren Objekte erhöht oder vielmehr die mit der Entfernung stattfindende Abnahme der Lichtstärke beschränkt wird, ferner aber auch darin, dass die Lichtstärke eines sich verdunkelnden Objektes gehoben oder vielmehr eine Verminderung der absoluten Lichtstärke weniger fühlbar gemacht wird.

Dieser Einfluss setzt also eine Veränderung des Objektes, sei es in Beziehung auf Entfernung oder absolute Lichtstärke voraus. Auf die relativen Werthe der scheinbaren Lichtstärke der einzelnen Objekte, welche gleichzeitig ihr Bild in unser Auge werfen, hat die Pupille keinen namhaften Einfluss. Diese Werthe sind, wie vorhin erwähnt, durch die mit der Entfernung nicht genau Schritt haltende Akkommodation des Auges bedingt und sie bestehen darin, dass uns ein gegen die Sehlinie konvergirender Flächenstreifen von gleichmässiger absoluter Helligkeit in seinen näheren Theilen heller als in seinen entfernteren erscheint, dass jedoch diese Helligkeitsabnahme nicht bedeutend ist.

13. Einfluss der Luft auf die Lichtstärke. Dass bei sehr grossen Entfernungen die Luft immer mehr von den Strahlen des Objektes absorbirt, also das Objekt immer mehr schwächt und verdunkelt, ist selbstverständlich. Diese Thatsache ist von vorstehender Erscheinung ganz unabhängig, hat aber für die Perspektive, namentlich für die Landschaftsmalerei eine gewisse Wichtigkeit.

Durch die Luft kann ein Gegenstand endlich ganz zum Verschwinden gebracht werden. Allein hiermit ist nicht gesagt, dass seine Lichtstärke oder Helligkeit endlich null würde oder dass er selbst schwarz erschiene. Vielmehr kann die Helligkeit des verschwindenden Objektes niemals geringer werden, als die Helligkeit der vom Sonnenlichte erleuchteten Luft, welche, indem sie das Licht dispersirt, selbstleuchtend wird und sich in die direkte Gesichtslinie zwischen uns und das Objekt lagert.

Abgesehen von dieser Verdunklung durch die Luft, also im luftleeren Raume, kann es keine Entfernung geben, aus welcher eine bestimmte absolute Lichtintensität gar keine Wirkung mehr auf unser Auge hervorbrächte. Es kann mit einem Worte keine Grenze der Sehweite für eine bestimmte absolute Helligkeit geben, wie es eine solche Grenze für eine bestimmte absolute Grösse des Objektes giebt. Jede Helligkeit wird aus jeder Entfernung auf unser Auge wirken, wenn nur das Objekt oder der Strahlenkegel oder der Sehwinkel gross genug ist. Denn die grösstmögliche Schwächung der Helligkeit findet statt, wenn das Auge auf eine unendliche Entfernung akkommodirt ist: mit

eser Akkommodation ist aber nur ein gewisses Verlustverhältniss, ineswegs der totale Verlust alles Lichtes verbunden.

14. Unsichtbarkeit der Sterne bei Tage. Aus dem letzteren tze ziehen wir einen Schluss, welcher für ein gewisses Phänomen in der .tur, nämlich für die Sichtbarkeit der Sterne von Interesse ist. Das lum der sichtbaren Sterne ist gross genug, um den von ihnen entıdten Lichtstrahlen bei der denselben zukommenden Intensität trotz · grossen Entfernung und der Dicke der zu durchlaufenden Luftschicht ·r Erdatmosphäre eine deutliche Wirkung auf unser Auge zu verschaf- :: Diess folgt direkt daraus, dass wir die Sterne überhaupt bei Nacht hen. Die scheinbare Helligkeit des reflektirten Lichtes, womit unsere mosphäre erleuchtet ist, übertrifft die scheinbare Helligkeit der Sterne: ess ergiebt sich daraus, dass wir die Sterne bei Tage nicht sehen. enn wir das Auge gegen den Lichtreiz von den Seiten möglichst ıützen; so vermindern wir dadurch allerdings die scheinbare Helligkeit r Atmosphäre: allein da wir aus gewöhnlichen Brunnen oder Schächn, auf deren Sohle fast absolute Dunkelheit herrscht, wo also der chtreiz der erleuchteten Atmosphäre ganz aufhört, die Sterne cht sehen; so erkennt man, dass die Helligkeit der in gerader Linie genden Luftpartikelchen von der Dicke unserer Atmosphäre, wenn diebe durch gewöhnliches Tageslicht erleuchtet ist, die Helligkeit des rnenlichtes in dieser Linie überwiegt.

Hieraus darf man die Folgerung ziehen, dass die Sterne auch s dem tiefsten Schachte bei Tage nicht sichtbar werden können, dass die Bedingung für die Sichtbarkeit der Sterne vielmehr lediga in der Verminderung der Helligkeit der Atmosphäre liegt. Dieser ekt kann aber nur durch Schwächung des Sonnenlichtes hervorbracht werden, wie sie beim Sonnenuntergange oder bei einer Sonnfinsterniss (d. h. bei einer Verdeckung der Sonne durch einen sserhalb der Atmosphäre liegenden Körper), überhaupt aber bei cht durch gänzliches Entweichen der Sonne entsteht.

15. Unabhängigkeit der scheinbaren Lichtstärke vom Geuche eines oder beider Augen. Schliesslich erinnern wir an das on in §. 13 No. 1 gefundene Resultat, wonach es in Beziehung auf die einbare Lichtstärke gleichgültig ist, ob man das Objekt mit einem r mit beiden Augen betrachtet, da vermöge des Wettstreites der Sehler von je zwei korrespondirenden Netzhautelementen immer nur eines ht.

Da übrigens das zweite, nicht sehende Netzhautelement nicht ganz thätig ist, sondern in Folge des äusseren Lichtreizes dazu beiträgt, Gesammtorgan in dem dem vollkommenen Sehen entsprechenden Spangszustande zu erhalten (§. 13 No. 9); so ist der Abschluss des Lichtıhles von dieser zweiten Nervenfaser der vollkommenen Erkennts nicht günstig. Demgemäss erscheint auch das Objekt bei der Behtung mit einem Auge zwar nahezu, jedoch nicht vollständig so hell bei der Betrachtung mit beiden Augen.

§. 27.

Scheinbare Farbe.

1. **Einfluss der Akkommodation auf die Intensität der Farbe.** Die Netzhaut ist nach §. 20 für die Schwingungszahl der Äthervibrationen empfindlich, sofern diese Zahl weder unter ein gewisses Minimum herabsinkt, noch ein gewisses Maximum überschreitet. Der Minimalzahl oder denjenigen Schwingungen, welche sich auf der Grenze der Langsamkeit befinden, bis zu welcher das Auge noch empfindlich ist, entspricht die oberste rothe Farbe des Spektrums; der Maximalzahl dagegen oder denjenigen Schwingungen, welche sich auf der Grenze der Raschheit befinden, bis zu welcher das Auge noch empfindlich ist, entspricht die unterste violette Farbe des Spektrums.

Allerdings giebt es jenseit der Grenzen des gewöhnlichen oder deutlich sichtbaren Spektrums noch Strahlen, wie aus den kalorischen und chemischen Wirkungen geschlossen wird, und es ist auch möglich, dass bei genügender Intensität diese ultrarothen und ultravioletten Strahlen den Sehnerven affiziren oder sichtbar werden, bei einem unmittelbar auf das violette Ende des gewöhnlichen Spektrums folgenden beträchtlichen Theile der ultravioletten und bei einem kleinen Theile der ultrarothen Strahlen ist Diess sogar gewiss der Fall: allein dessenungeachtet ist doch klar, dass die normale, planmässige Affektion des menschlichen Sehnerven nur den Strahlen des gewöhnlichen Spektrums zukömmt und dass die Affektion durch ultrarothe und ultraviolette Strahlen ebenso exzeptionell oder abnorm ist, wie die Reizung durch Elektrizität, mechanischen Druck, Wärme, chemische Reagentien und andere Mittel.

Die einfachen oder elementaren Farben gehen durch allmähliche Veränderung der Vibrationsgeschwindigkeit auch allmählich ineinander über; es giebt deren unendlich viele. Gleichwohl machen erst diejenigen Farben einen den Charakter der Ungleichartigkeit annehmenden Eindruck, deren Vibrationsgeschwindigkeit sich erheblich voneinander unterscheidet, wie z. B. Gelb, Grün, Blau. Nach dem unsicheren Sprachgebrauche nennt man daher auch nur solche Farben verschieden und die zwischenliegenden Nuancen oder Töne derselben. Im Allgemeinen kommen in der Natur nur gemischte Farben vor, welche sich durch das Prisma in mehr oder weniger ausgedehnte Theile oder Mengen von einfachen Farben zerlegen.

Das Urtheil über die Farbe beruht nach §. 20 auf der besonderen stofflichen oder chemischen Thätigkeit in der Substanz des Sehnerven, welche durch die vom vibrirenden Äther ausgehenden Impulse veranlasst wird. Wir behalten uns vor, das Wesen dieser Nerventhätigkeit in §. 6[illegible] spezieller zu erläutern, und beschränken uns jetzt auf einige Bemerkungen über den Zusammenhang und den gegenseitigen Einfluss, welcher unter den Funktionen der einzelnen Organe des Auges besteht.

Prinzipiell wissen wir, ist der Farbendruck nicht von der Akkommo-

lation und die Akkommodation nicht von der Farbe abhängig. Einem ganz vollkommenen Auge würde dasselbe Objekt aus jeder Entfernung in der nämlichen Farbe erscheinen. Mit Bezug auf §. 18 No. 8 und §. 26 No. 2 kann man also das interessante Faktum konstatiren, dass nach dem idealen Sehplane oder in einem vollkommenen Auge ein Objekt ganz unabhängig von seiner Entfernung stets in gleicher Grösse, Lichtstärke und Farbe, also stets so wie es wirklich ist erscheint. Nur auf Rechnung der Unvollkommenheit des Organismus sind die Abweichungen von diesem Gesetze zu schreiben. Dieselben beruhen also hinsichtlich der Farbe in dem Einflusse, welchen die Akkommodationsthätigkeit und die Qualität der optischen Thätigkeit des Sehnerven gegenseitig aufeinander ausüben.

Damit diese Thätigkeit des Sehnerven bei der gegebenen Beschaffenheit des Auges in normaler Weise zu Stande komme, muss das Auge auf das Objekt richtig akkommodirt sein. Ist Diess nicht der Fall; so wird die im Sehnerven entstehende Thätigkeit von der normalen abweichen, und wir werden eine von der wirklichen abweichende Farbenempfindung erhalten, welche die scheinbare Farbe bedingt.

Zunächst gilt von der Wirkung der Intensität der Farbe oder von der Farbenstärke grundsätzlich Dasselbe, was in §. 26 No. 3 von der Lichtstärke überhaupt gesagt ist. Eine Erhöhung der Akkommodationsthätigkeit erhöht also auch die scheinbare Farbenstärke, und umgekehrt steigert die Farbenstärke die Akkommodationsthätigkeit. Je näher ein Objekt uns kömmt, desto intensiver erscheint uns seine Farbe, und je weiter es sich entfernt, desto schwächer wird diese Farbe.

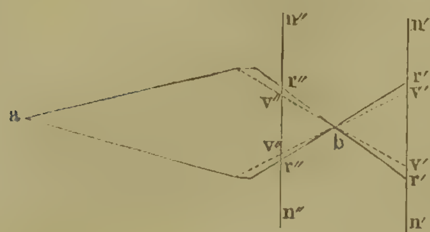
Was jedoch das Verhältniss zwischen den Akkommodationszuständen der einzelnen Organe des Auges und den öfter erwähnten Abnormitäten jedes einzelnen Organes betrifft; so hängt dasselbe mehr oder weniger von der Farbe ab. Hierdurch gewinnt die Farbe einen spezifischen Einfluss auf die scheinbare Grösse und Entfernung der Objekte, welche sich mit der Wirkung der Intensität kombinirt und mit derselben in mancher Hinsicht konkurrirt, sodass sich die Wirkung der Intensität oder Qualität bald unterstützen, bald beeinträchtigen.

2. Zerstreuung der Farben bei unvollkommener Akkommodation. Die fehlerhafte Akkommodation äussert auf die scheinbare Farbe zunächst denjenigen Einfluss, welchen die Zerstreuung mit sich bringt. Bei einfachen Farbenstrahlen besteht diese Wirkung nur in einer allgemeinen Schwächung des Lichteindruckes. Bei Mischfarben bewirkt die Ungleichheit der Zerstreuungskreise der einzelnen Farbenelemente, dass diejenigen Strahlen, welche weniger aberriren, also kleinere Zerstreuungskreise bilden, vermöge ihrer besseren Konzentration einen vorwiegenden Eindruck machen, dass also die Farbe sich mehr dem Tone der in dem Gemische enthaltenen brechbareren oder dem Tone der weniger brechbaren nähert, wobei natürlich auch das Intensitätsverhältniss der einzelnen Bestandtheile mit zu berücksichtigen ist.

Bliebe das Dispersionsverhältniss zwischen Linse und Glaskörper, wenn das Auge sich falsch akkommodirt, also das Lichtbild nicht mehr auf

die Netzhaut fällt, doch stets das richtige, sodass in dem eigentlichen Lichtbilde b (Fig. 195) fortwährend genaue Konzentration aller Farben stattfände; so würden, wenn das Auge zu nahe akkommodirt oder zu lang ist, in dem Netzhautbilde die brechbareren (violetten) Strahlen die kleineren Zerstreuungskreise $v'v'$ bilden. Das Nämliche würde auch stattfinden, wenn das Auge zu weit akkommodirt oder zu kurz wäre, indem alsdann auch auf der Netzhaut $n''n''$ die brechbareren Strahlen sich am besten konzentrirten.

Fig. 195.



Dem falsch akkommodirten Auge würde also ein weisses Objekt stets violetlich oder bläulich erscheinen und zwar würde diese Verfärbung bei den ganz nahen Objekten viel stärker hervortreten, als bei den sehr entfernten, weil die Unrichtigkeit der Akkommodation oder vielmehr die Zerstreuung bei der Fixirung sehr naher Objekte viel bedeutender ist, als bei der Fixirung sehr entfernter Objekte. Man kann also sagen, dass bei dieser Voraussetzung ein sehr nahes weisses Objekt bläulich, ein sehr entferntes dagegen in Vergleichung zu jenem röthlich erscheine.

Nimmt man an, mit der unrichtigen Akkommodation ändere sich auch das richtige Dispersionsverhältniss; so kann man nur die Voraussetzung bilden, dass bei einer zu starken Akkommodation, welche das Lichtbild vor die Netzhaut führt, die Linse relativ zu dicht und der Glaskörper zu dünn, dass also die Dispersion der Linse zu schwach und die des Glaskörpers zu stark werde (§. 2 No. 11 und §. 8 No. 23). Alsdann erfolgt eine Zerstreuung nach Fig. 196: die rothen Strahlen konvergiren vor den violetten und das weisse Objekt erscheint dem zu nahe akkommodirten Auge bläulich.

Fig. 196.

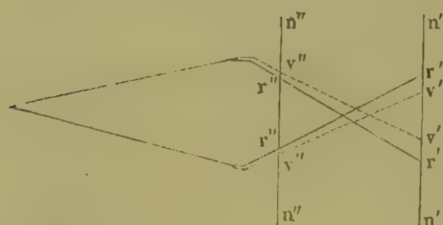
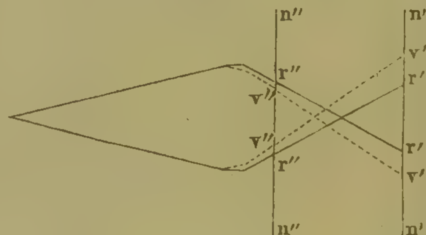


Fig. 197.



In dem zu weit akkommodirten Auge, wo das Lichtbild hinter die Netzhaut fällt, würde die Linse zu dünn und der Glaskörper zu dicht sein. Nach Fig. 197 würden alsdann die rothen Strahlen hinter den violetten konvergiren und das Objekt würde ebenfalls bläulich erscheinen.

Dieses Resultat ist qualitativ dasselbe, wie das aus der Voraussetzung einer konstanten Dispersion gezogene, und unterscheidet sich nur quantitativ davon. Dasselbe kann als das der Wirklichkeit entsprechende angesehen werden, da es zu wahrscheinlich ist, dass mit einer fehlerhaften Akkommodation eine fehlerhafte Dispersion verbunden ist.

Wir nehmen hiernach an, dass die *Dispersion* nur bei der Akkom-
lation auf die *mittlere Sehweite* ganz richtig ist. Bei der Fixi-
; *näherer* Objekte ist die Akkommodation bekanntlich *zu schwach*;
nehmen daher an, dass alsdann die Linse relativ zu dünn sei und
die rothen Strahlen nach Fig. 197 *hinter* den violetten konvergiren.
ler Fixirung *entfernterer* Objekte ist die Akkommodation *zu stark*,
demnach nehmen wir an, dass alsdann die Linse relativ zu dicht sein,
also die rothen Strahlen nach Fig. 196 *vor* der violetten konvergiren.
Fallen nun in das letztere, auf eine grössere Entfernung, also für
Entfernung zu nahe akkommodirte Auge die Bilder der in verschie-
m Entfernungen liegenden Objekte des Gesichtsraums; so stellt in
196 $n''n''$ die relative Lage der Netzhaut gegen die Strahlenbündel
lie nahen und $n'n'$ für die entfernten Objekte dar. Hiernach erschei-
dem auf eine *grosse Entfernung* akkommodirten Auge die *nahen*
sen Objekte *röthlich* und die *entfernten* weissen *bläulich*,
end die in der fixirten Entfernung liegenden *nahezu weiss* er-
nen.

Fallen dagegen die Bilder der Objekte in das erstere, auf eine ganz
e Entfernung, also für diese Entfernung zu weit akkommodirte Auge;
ellt in Fig. 197 $n''n''$ die Netzhaut für die nahen und $n'n'$ die Netz-
für die entfernten Objekte dar. Jetzt erscheinen also dem auf eine
kleine Entfernung akkommodirten Auge die *nahen Objekte*
lich und die *entfernten röthlich*, während die in der fixirten
rnung liegenden *nahezu weiss* erscheinen.

Zu dieser Wirkung, welche keine grosse Stärke besitzt, gesellen sich
h noch die weiter unten zu besprechenden Wirkungen.

Dass sich die Wirkung ungleich grosser Zerstreuungskreise verschie-
Farben zu einer gleichartigen Mischfarbe vereinigt, wenngleich darin
on der besser konzentrirten Farbe vorwaltet, ist nicht unwichtig und
eine Analogie zu dem früher besprochenen Faktum, dass das Auge
in Beziehung auf *Grösse, Entfernung* und *Richtung* einen
reuungskreis auf die Spitze oder Mitte seines Strahlenkegels zu be-
weiss.

Bei dieser Zerstreuung der Farben, wobei die einzelnen Farbenelemente
entrisch aufeinander fallen, besteht die Veränderung der
in einer Veränderung ihres *Tones*: *farbige Ränder* am Ob-
können nicht vorkommen; es findet keine eigentliche Aberra-
der farbigen Hauptstrahlen statt. Sobald jedoch die Mittelpunkte
erstreuungskreise der einzelnen Farbenkegel nicht ineinander fallen,
l also wirkliche Aberration der farbigen Hauptstrahlen entsteht,
n sich auch *Farbensäume* ergeben, wovon wir in §. 47 ein Bei-
betrachten werden.

Einfluss der Farbe auf die Akkommodation. Der vorste-
Effekt beruht nur auf der Wirkung der grösseren oder geringeren
treuung der verschiedenfarbigen Strahlen. Bei Objekten
infacher Farbe findet derselbe überhaupt nicht statt.

äbe es nur *eine* Farbe, kämen also nur Brechungs-, keine Disper-
erhältnisse in Betracht; so müsste die Akkommodationsanstrengung

des Auges offenbar umso grösser sein, je weniger brechbar d Farbe wäre, weil der Brennpunkt sich umso weiter von der Linse entfer je geringer die Brechbarkeit ist.

Hieraus schon möchte man schliessen, dass es dem Auge eine grösse Anstrengung verursachen muss, rothe als violette Objekte zu seh Gleichviel nun, ob hierbei noch andere Verhältnisse, namentlich die d Stoffwechsels in Frage kommen, wie es wohl der Fall sein wir thatsächlich übt das rothe Licht einen stärkeren Reiz auf das Auge a als das violette. Das rothe Licht wirkt am stärksten blendend, w gegen das blaue am wenigsten reizend wirkt, sodass angegriffene Aug durch blaue Brillen am besten geschützt werden. Der Umstand, dass nic das violette, sondern das blaue Licht am wenigsten das Auge angrei lehrt zugleich, dass ausser der Vibrationsgeschwindigkeit auch no andere Wirkungen (chemische) eine Rolle spielen, welche wir in §. näher kennen lernen werden.

Demzufolge darf man annehmen, dass die Verdichtung und stärke Wölbung der Linse und demgemäss die Veränderung des Lichtbildes u der wirksamsten Strahlen für die rothen Strahlen am bedeuten sten ist. Übrigens habe ich Grund anzunehmen, dass die verschieden Farben den Akkommodationszustand des Auges nicht bloss in Beziehu auf Intensität, sondern auch in Beziehung auf die Art und Wei verschieden alteriren. In dieser Hinsicht stelle ich folgenden Satz auf.

Im Allgemeinen sind Linse und Glaskörper keine homogen Körper; die Schalen der Ersteren, die Häute des Letzteren und der A griff der die Akkommodation ausführenden isolirten Nerven und Gewe bewirken, dass sich in diesen Medien Figuren auszeichnen, in welch die Dichtigkeit, also die Brechbarkeit und Dispersion, sow auch die Krümmung eine andere ist, als an den übrigen Stellen, soda also das optische Bild eines äusseren Punktes kein Punkt, sondern ei Zerstreuungsfigur ist, deren besondere (sternförmige) Gestalt w in §. 53 und 54 kennen lernen werden.

Das am wenigsten brechbare (rothe) Licht bewirkt in d Linse und korrespondirend im Glaskörper zirkulare Verdic tungen und stärkere Wölbungen in der Randpartie, währe in der Mitte eher Verdünnung und schwächere Wölbung ei tritt. Das brechbarste, oder vielmehr, wie wir später näh zeigen werden, das dem brechbarsten nahe liegende bla Licht dagegen bewirkt mehr radiale Verdichtungen, also Ve stärkung der Verdichtung in den schon verdichteten Radie und Verdünnung der dazwischen liegenden Sektoren. Für d mittleren Farbenelemente findet ein entsprechender Übergang zw schen diesen beiden Veränderungsweisen statt. Für die Mischfarb kombiniren sich die betreffenden Wirkungen. Das weisse Licht e zeugt also die verhältnissmässig grösste, aber zugleich no malste Änderung, und was die Art der Änderung betrifft; wird die Wirkung des gelben Lichtes der des weissen a nächsten kommen (vergl. §. 54 No. 11).

4. Einfluss der Farbe auf die scheinbare Grösse und Entfer-ıg. Indem sich die Linse beim Übergange von brechbarerem zu we-›r brechbarem Lichte am Rande stärker wölbt und verdichtet oder mehr ellipsoidische Form annimmt, entsteht nach §. 24 No. 19 inbare Vergrösserung des Objektes. Hiernach erscheint uns bei her Helligkeit und Entfernung ein rothes Objekt grösser, als ein ues.

Am richtigsten erkennen wir die Grösse an einem weissen ekte. Das rothe erscheint daher zu gross und das blaue lein.

5. Verwandlung der Farbe durch unvollkommene Akkommo-on. Unvollkommene Akkommodation bewirkt nicht bloss die in 2 beschriebene Zerstreuung der einfachen Elemente einer Misch-›e, also eine Veränderung der Ablenkung jeder einfachen Farbe der Brechung, sondern auch eine Verwandlung der Farbe selbst ihrer Qualität.

Mit zunehmender Akkommodationsanstrengung wächst nach No. 1 Intensität der Farbe, also auch die Quantität des in der Nerven-tanz vor sich gehenden Stoffwechsels, d. h. zu den bei normaler commodation in Thätigkeit gesetzten Stoffmassen gesellen sich noch ır, welche denselben Prozess vollführen.

Mit abnehmender Akkommodationsanstrengung findet umgekehrt minderung des Stoffwechsels, also Schwächung der Intensität ; ausserdem bleibt der Stoffwechsel auch seiner Qualität nach normaler. Die nicht mit normaler Intensität erregten Massentheilchen führen den Prozess des Stoffwechsels nicht in völlig normaler Weise; ntwickeln eine mehr oder minder starke abnorme stoffliche Thätig-, und diese kann nur in einem Prozesse bestehen, welcher mit der malen Thätigkeit die geringste Gemeinschaft hat, d. h. in dem-gen, welcher die Komplementärfarbe erzeugt (§. 20 No. 4). Mit r Abnormität ist selbstverständlich eine besondere Schwächung Hauptprozesses verbunden.

Aus Letzterem lässt sich auch schliessen, dass mit der Zunahme Akkommodationsanstrengung über das normale Maass hinaus eine er grössere Überwältigung der falschen Farben, welche wegen der obwaltenden Unvollkommenheit des Prozesses auftreten, stattfindet, ss also die Farbe immer reiner erscheint.

Die bei abnehmender Akkommodation auftretende Komplemen-ırbe mischt sich mit einer entsprechenden Quantität der direkt vom kte angeregten Farbe zu weissem Lichte; das Resultat ist, dass abnehmender Akkommodation die Farbe des Objektes schwächer zugleich blasser (weisslicher) wird. Die Schwächung ist erheb-r als die Verblassung und wenn die Farbe des Objektes von vorn in einen Antheil weisses Licht enthält, wie es fast bei allen von Sonne erleuchteten Objekten der Fall ist; so ist der wesentliche Effekt dunklung.

Das nähere Objekte erscheint uns also kräftiger und rei-in der Farbe; das entferntere dagegen schwächer in der

Farbe und blasser. Ein weisses Objekt wird hiernach ums heller erscheinen, je näher es ist, und umso dunkeler, je en fernter es ist.

Gleichwohl erscheint uns ein zu nahes Objekt, auf welches das Au zu weit akkommodirt ist, zu matt, oder nicht so kräftig, als es müsst und ein zu entferntes Objekt, auf welches das Auge zu nahe akko modirt ist, erscheint uns kräftiger, als es müsste.

Indem ein Objekt näher rückt, wird es also kräftiger un reiner in der Farbe, und indem es sich entfernt, wird es ma ter und blasser: enthält die Farbe weisses Licht; so erscheint d Objekt, indem es näher rückt, auch heller und indem es sich entfern dunkeler. Übrigens findet jene Zunahme bei der Annäherung und die Abnahme bei der Entfernung nicht in dem Maasse statt, wie es g schehen würde, wenn die Akkommodation des Auges gena oder vollkommen bliebe.

6. Das Normalobjekt. Die grösste Deutlichkeit und Richtigke des Sehens in jeder Beziehung ist an Bedingungen gebunden, welche all Eigenschaften des Objektes umfassen: eine Sehweite von etwa 250 Milli meter, einen Sehwinkel nicht unter $1/2$ und nicht über 6 Grad, also vie leicht einen solchen von 3 Grad, d. h. eine absolute Grösse von etw 10 Millimeter, eine der Beleuchtung durch mittleres Tageslicht entspr chende Lichtstärke und Helligkeit, endlich aber auch eine alle Fa benelemente in sich vereinigende, also nahzu weisse Farbe.

Man kann sogar weiter behaupten, dass zum möglichst vollkommene Sehen nicht Einförmigkeit, sondern eine gewisse Mannichfaltigke in Form, Lichtstärke und Farbe, also im Allgemeinen ein kö perliches Objekt von angemessenen Formen, Licht- und Schat tenpartien und Farben mit einer entsprechenden Umgebung un Beleuchtung des Gesichtsraumes erforderlich ist.

Wenn eine oder mehrere dieser Eigenschaften nicht dem absolu günstigsten Zustande entsprechen; so wird es für die übrigen immer be stimmte Werthe geben, welche dem relativ günstigsten Zustande ange hören.

Unter den normalen Verhältnissen erscheint uns allerdings ein Ob jekt am richtigsten: allein die Abweichungen von der Wahrheit, welch sich einstellen, wenn jene normalen Verhältnisse nicht realisirt sind, be ruhen doch nur auf der Unvollkommenheit des Organismus, nicht au dem Prinzipe, wonach dieser Organismus gebildet ist, sie sind daher be gewissen Abweichungen schwach und erlangen erst bei grossen Abweichun gen eine Bedeutung. Abgesehen also von diesen Unvollkommenhei ten, so befähigt das dem Gesichtssinne zu Grunde liegende Prinzi unser Auge, jedes Objekt, wo es sich auch befinde, in seine Entfernung, Lage, Grösse, Form, Lichtstärke und Farbe, als in allen seinen optischen Eigenschaften richtig zu erkennen

§. 28.

)as Zurückstrahlen des Lichtes aus dem Auge und die Funktionen der Aderhaut.

1. Konzentration des Strahlenbündels auf der Aderhaut. Die /irkung des von einem Punkte der Aussenwelt ausgestrahlten Lichtes auf as Auge charakterisirt sich nach dem Früheren durch vier wesentliche igenschaften. Einmal durch die *Erschütterung oder Affektion* ines bestimmten Stäbchens der Netzhaut oder eines bestimmten mfangselementes der nach dem Gehirne führenden Nervenleitungen, womit e Vorstellung von der nach dem Punkte führenden *Richtung* längs der xe *jenes Stäbchens* verbunden ist. Zweitens durch das Verhältniss er *Seitenkomponente* zu der in der *Richtung der Stäbchen*-xe *liegenden Komponente der Lichterschütterung*, ein Verältniss, welches äusserlich durch die *Konvergenz der Strahlen* es in die Netzhaut eindringenden Strahlenbündels gemessen wird, urch seine Affektion der Nervensubstanz aber die Erkenntniss der *Ent*-rnung des Punktes hervorbringt. Drittens durch die *absolute Grösse* eser *erschütternden Kräfte*, welche das Gefühl für die *Licht*-ärke des leuchtenden Punktes erwecken. Viertens durch den *chemi*-hen *Prozess* oder allgemein durch die in stofflichen Gruppirungen ch aussprechenden Neigungen der Nervensubstanz, welche durch jene thererschütterungen erzeugt und in ihrer Intensität ebenfalls durch die Innsität der Erschütterungen bedingt werden und worauf die Empfindung r *Farbe* beruht.

Es drängt sich jetzt die Frage auf, warum zur vollkommenen Erreiung dieser Effekte das *Lichtbild* im Auge einen *bestimmten Ort* d zwar den Ort auf der *Aderhaut* einnehmen muss und warum das ige darnach trachtet, *das Strahlenbündel auf dieser Haut zu* *nzentriren.*

Auf den ersten Blick scheint es, dass diese Wirkungen wohl ebenso t hervorgebracht werden könnten, gleichviel in welchen Punkt des Stäbens der Konvergenzpunkt des Strahlenbündels fällt. Ja es wäre hierzu hl noch nichteinmal eine Konzentration in der *Stäbchenmasse* unbengt nothwendig; die Spitze des Strahlenkegels könnte auch ganz vor Netzhaut in den Glaskörper oder als virtueller Punkt *hinter* die tzhaut fallen; die Affektionen der Stäbchenmasse würden für jedes zwien zwei elementaren Strahlen des Strahlenbündels liegende Elementarndel in einer gesetzlichen Weise zu Stande kommen können. *Faktisch* Letzteres in der That häufig der Fall, da bei *ungenauer Akkom*-*dation* die Spitze des Strahlenkegels bald vor, bald hinter der Netzit liegt und sich *Zerstreuungskreise* bilden.

Die Erscheinung eines *Punktes* als *Fläche* in dem Falle, dass sich rstreuungkreise bilden, lehrt unzweideutig, dass nur die *Netzhaut* die tempfindenden Organe enthält und dass kein Theil des Glaskörpers auf

das Strahlenbündel so zu reagiren vermag, dass daraus eine Gesichtsvorstellung entspringt. Hieraus muss denn allerdings das Bestreben entstehen, die Spitze des Strahlenkegels in den lichtempfindenden oder sensuellen Organen, also in der Netzhaut, insbesondere in der Stäbchenschicht zu konzentriren: allein es entsteht immer noch die Frage, warum die grösste Vollkommenheit des Eindruckes eine Konzentration auf der Aderhaut erfordert.

Meines Erachtens ist für die animalische Thätigkeit eine Zusammenwirkung, eine Reaktion zwischen Nerven und Blut etwas ganz Wesentliches. Ich betrachte das Blut nicht bloss zur Ernährung des Körpers, sondern auch zur Erzeugung jener eigenthümlichen Thätigkeit in der Nervensubstanz, welche die eigentliche Nerventhätigkeit, den Nervenstrom ausmacht und sich in wesentlichen Punkten auf die Neigungen oder Qualitäten der Stoffe stützt, also nicht bloss den mechanischen oder Quantitätsgesetzen der Materie, d. h. des Äthers oder des Ponderabelen folgt, für unbedingt nothwendig. Wenngleich wir den Nerven als den speziellen Träger und Leiter aller derjenigen Thätigkeiten ansehen können und ansehen müssen, welche bei ihrem Eintritte in das Gehirn dieses Zentralorgan zu den materiellen Funktionen anregen, auf welchen das geistige Bewusstsein von Vorstellungen und Empfindungen beruht; so könnten doch diese Nerventhätigkeiten nicht ohne Betheiligung des Blutes an dem Anfangspunkte der Nervenleitung zu Stande kommen.

Thatsächlich bestätigt sich diese Ansicht durch die Beobachtung, dass das Gesichtsfeld sofort schwarz wird, also keinen Lichteindruck mehr empfindet, sobald durch mechanischen Druck das Blut aus der Aderhaut an der Stelle verdrängt wird, wohin das Bild des Gesichtsfeldes fällt. Die Verdrängung des Blutes und das Aufhören der Pulsationen der feinen Arterien der Aderhaut lässt sich durch den Augenspiegel genau erkennen. Ebenso verwirrt eine zu reichliche Blutthätigkeit die Thätigkeit des Sehnerven.

Eine Erschütterung des Stäbchens in irgend einem Punkte seiner Masse ruft nun zwar die chemische Mitwirkung des Blutes schon dadurch hervor, dass das Stäbchen mit seiner vorderen Spitze in der blutreichen Aderhaut steckt: allein vollkommen kann die Zusammenwirkung von Nerv und Blut nur dann sein, wenn die Äthererschütterung, welche die gemeinschaftliche Thätigkeit dieser beiden Substanzen hervorruft, unmittelbar auf den Berührungspunkt derselben geführt, d. h. wenn das Strahlenbündel auf der Aderhaut konzentrirt wird.

2. **Undurchsichtigkeit der Aderhaut.** Die bestmögliche Übereinstimmung und Zusammenwirkung zwischen Blut und Nervensubstanz behuf Erregung eines möglichst normalen Nervenprozesses ist also der Grund der Vereinigung der Strahlen auf der Grenze zwischen der Aderhaut und Netzhaut. Hieraus folgt übrigens noch nicht die Nothwendigkeit, dass die Aderhaut undurchsichtig sei.

Wäre die Aderhaut durchsichtig wie die Netzhaut oder doch durchscheinend; so würde sich der eben besprochene Effekt, was

ine Qualität betrifft, noch ebenso ergeben: allein in Beziehung auf ine Kräftigkeit liesse sich nicht Dasselbe sagen. Ist die Aderhaut ndurchsichtig; so treten die vom Glaskörper herkommenden Strahlen icht in dieselbe ein, sondern werden nach allen Richtungen diffundirt. ffusion besteht in der Erregung der getroffenen Thleilchen eines un-rchsichtigen Körpers zu Lichtschwingungen (§. 2 No. 4 und 6): dieselbe wirkt also Zweierlei, einmal dass die Blutkörperchen der Aderhaut ergischer von den Lichtstrahlen erregt werden und ausserdem, dass die ervenmasse der Stäbchenschicht auch durch die diffundirenden rahlen, welche den Weg der einfallenden Strahlen verfolgen, affizirt wer-n, dass also die Erschütterung der Ätherschwingungen in den Stäbchen enfalls verstärkt wird.

Reflexion ist nach §. 2 No. 6 im Wesentlichen nichts Anderes, : Diffusion: es sind nur die kompakteren Diffusionsstrahlen, lche man reflektirte nennt. Je glatter die Aderhaut ist, desto bes- · wird sie reflektiren, desto mehr werden also die kompakteren Dif-sionsstrahlen sich innerhalb des ins Auge eintrenden Strahlen-ndels halten. Möglichste Glätte ist hiernach ein Vorzug für die Ader-ut, aber doch keine absolute Bedingung. Denn die diffundirenden rahlen treten, selbst wenn diese Haut nicht absolut glatt wäre, was sie in der That nicht ist, vorzugsweise innerhalb jenes Strahlenbündels s. Diejenigen Diffusionsstrahlen aber, welche ausserhalb dieses Bün-ls fallen, wirken, wenn die Spitze des Strahlenkegels in der Aderhaut gt, auf die Stäbchenschicht ebenso wie ein erweitertes Strahlen-ndel, also ein durch eine grössere Pupille eintretendes, aber von dem-ben leuchtenden Punkte herkommendes Bündel es thun würde.

Diejenigen Diffusionsstrahlen, welche ausserhalb des eintretenden rahlenbündels fallen, könnten nur in zwei Fällen störend wirken: ein-l bei unvollkommener Akkommodation, also für den Fall, dass die Spitze s Strahlenbündels nicht auf der Aderhaut stände. Allein in diesem Falle, die Aderhaut in jedem Punkte nur von einem elementaren Strahle roffen wird, ist die Wirkung der Diffusion an und für sich unerheb-h, also auch die Störung gering. Ausserdem könnten solche Diffusions-ahlen dadurch das Auge irritiren, dass sie nicht durch die Pupille austrä-, sondern gegen die innere Augenwand auf andere Netzhautstellen ge-rfen würden. Erwägt man aber, dass die Netzhaut am gezackten nde aufhört und fast die ganze vordere Hälfte der Augenwand von merven entblösst lässt, dass also die auf diese Hälfte fallenden Diffu-nsstrahlen keine Nervenelemente treffen können, und dass die stärker weichenden Diffusionsstrahlen, welche die Netzhaut erreichen, immer wächer werden, je mehr sie sich von der Axenrichtung des Strahlen-ndels entfernen, dass überhaupt in das Bereich des einigermaassen utlichen Gesichtsfeldes kein Diffusionsstrahl von namhafter Inten-it gelangen kann, endlich, dass diese Diffusionsstrahlen die innere Augen-nd als isolirte Elementarstrahlen (in divergenten, nicht in konvergen-Richtungen) treffen; so kann von einer störenden Wirkung der Dif-ionsstrahlen überall keine Rede sein.

Dass indessen wirklich Diffusion, nicht bloss Reflexion auf der erhaut stattfindet, geht daraus hervor, dass man das Netzhautbild eines

äusseren Objektes, welches durch die Pupille einfällt, durch ein Loch, welches irgendwo in der harten Haut gemacht ist, sehen kann.

Nach Vorstehendem ist Undurchsichtigkeit der Aderhaut eine Bedingung zur möglichsten Verstärkung des Lichteindruckes. Dass diese Bedingung nicht ganz streng erfüllt zu sein braucht, lehren die Augen der Albinos, deren Aderhaut kein Pigment enthält, also durchscheinend ist.

Übrigens haben diese Augen doch dicht unter der Aderhaut (zwischen der Aderhaut und der harten Haut) eine undurchsichtige glatte Haut, das sogenannte Tapet (*tapetum*), welches die Strahlen diffundirt. Beim normalen Auge vertritt die oberste Schicht die Aderhaut, die Jakobische Haut, jenes Tapet und wirkt insofern vollkommener, als sie den Diffusionspunkt genau in die Spitze des Strahlenbündels und in die Berührungsstelle der Nervenleitung mit dem Blute legt.

3. Schwarzes Pigment der Aderhaut. Wenn die Aderhaut durch eine diffundirende Oberfläche zur Unterstützung des Lichteffektes mitwirken soll; so ist es offenbar wünschenswnrth, dass diese Oberfläche schwarz sei, damit durch das einfallende Licht keine farbigen Diffusionsstrahlen erregt werden, welche die natürliche Farbe der Objekte beeinträchtigen würden. Hiernach erfordert also ein möglichst vollkommener Sehplan eine Aderhaut, welche mit schwarzem Pigment ausgelegt und belegt ist, zwischen dessen Körnchen hindurch das aus den arteriellen Kapillaren ausschwitzende und von den venösen Kapillaren aufzusaugende Blut durchdringen kann, um als fein zertheilter Saft die Enden der Stäbchen zu benetzen.

Das Pigment der Aderhaut, indem es die Diffusion der Aderhaut unterstützt und vor nachtheiligen Farbenwirkungen schützt, mässigt zugleich die Reaktion zwischen Blut und Nervensubstanz in solchen Fällen, wo durch organische Prozesse eine ungewöhnlich starke Blutzirkulation herbeigeführt wird, bewahrt also das Gesichtsorgan in solchen Fällen vor Störungen.

Ausserdem befähigt dieses Pigment das Auge zum Sehen in sehr intensiv erleuchteten Räumen, indem das Pigment verhindert, dass das durch starke Lichtwirkungen und starke Nerventhätigkeiten zu ebenmässig starker Mitthätigkeit und demzufolge zu einer reichlicheren Zuströmung veranlasste Blut wegen dieser starken Zuströmung Störungen und unerträgliche Nervenreize herbeiführt. Das Leben in sehr hellen Räumen ist aber ein grosser Vorzug, weil die Helligkeit des Gesichtsraumes die Vorbedingung für die Sichtbarkeit der kleinen und dunkelfarbigen Objekte ist, welche nur durch starke Erleuchtung zur Aussendung hinreichend kräftiger Diffusionsstrahlen gebracht werden können.

Hieraus erläutert sich auch die Thatsache, dass Albinos und überhaupt Geschöpfe mit pigmentloser Aderhaut in hellen Räumen schlechter sehen und auf Räume von mässiger Erleuchtung angewiesen sind. Wo der Aufenthalt in der Dämmerung und Dunkelheit Naturzweck ist, wie bei Eulen, Mäusen und anderen Thieren, ist die pigmentlose Aderhaut eine

iel häufigere Erscheinung, ja wohl gar eine Regel; wo aber der Aufenthalt in sehr hellen Räumen beabsichtigt ist, wie bei Vögeln, kann unter Jmständen eine Trübung der lichtbrechenden Medien durch baumförmig ineinragende Gebilde nützlich sein.

4. Einfluss der rothen Farbe des Blutes. In Wirklichkeit deckt as Pigment der Aderhaut die feinen Kapillargefässe nicht immer so vollständig, dass nicht stellenweise das mit rothem Blute gefüllte Gefässnetz indurchschiene. Bei Albinos liegt dasselbe sogar ohne Pigment ganz loss zwischen der Netzhaut und dem undurchsichtigen Tapet. Hiernach ird also die rothe Farbe des Blutes immer einigen Einfluss auf die Erscheinung der Farben der Objekte haben: was aber den Grad dieses Einflusses betrifft; so täuscht man sich auf den ersten Blick sehr über essen Beträchtlichkeit.

Blut hat allerdings beim gewöhnlichen Anblicke eine intensiv rothe Farbe: allein man muss beachten, dass diese Intensität, womit uns ein vor ns liegender Blutstropfen erscheint, das Resultat einer Diffusion ist, elche durch die von allen Punkten des unbegrenzten Raumes usgehenden Strahlen erweckt wird. Jeder Punkt des erleuchteten Raumes um uns herum sendet einen Strahl auf den Blutstropfen: die ichtmenge, welche dieser Tropfen empfängt und welche ihn zum Leuchten bringt, entspricht also einem Lichtkegel, dessen Winkel an der Spitze enigstens 180 Grad misst und dessen Elementarstrahlen zum Theil sehr ntensiv sind, da sie theilweise die Lichtwirkung der in einer geraden inie des hellen Luftraumes hintereinander liegenden unendlich vielen uchtenden Punkte des Luftraumes darstellen. Eine so erhebliche Erreung erzeugt natürlich auch eine namhafte Diffusion: der Blutstropfen ird befähigt, intensive rothe Strahlen auszusenden, also uns lebhaft oth, d. h. mit ähnlicher Intensität wie andere farbigen Objekte zu erscheinen.

Vergleichen wir hiermit einen Blutstropfen in der Aderhaut. Derselbe ird nur durch einen sehr kleinen Strahlenkegel, nämlich durch den Keel getroffen, welcher von dem fixirten Objekte ausgeht und die Pupille zur Basis hat. Von allen übrigen Punkten des äusseren Raumes können nur noch solche auf jenen Tropfen wirken, welche in der Virlinie nach dem Objekte liegen: alle seitwärts liegenden Punkte können gar keine Strahlen auf jenen Tropfen bringen; ein in der Visirlinie egender Punkt vermag jedoch, da das Auge auf ihn nicht akkomodirt ist, keinen Strahlenkegel, sondern, indem er einen Zertreuungskreis auf der Netzhaut bildet, nur einen elementaren trahl auf den fraglichen Tropfen zu führen. Die gesammte Lichtwirung aller in der Visirlinie liegenden leuchtenden Punkte auf jenen ropfen ist demnach höchstens doppelt so gross als die Wirkung des om Objektpunkte ausgehenden Strahlenbündels, dessen Basis die Pupille ist.

Hierdurch kann nun der Blutstropfen in der Aderhaut nur sehr chwach erregt werden; das von ihm diffundirte Licht kann mithin ur eine äusserst geringe Intensität im Vergleich zu der Intensität es von äusseren Objekten kommenden, aus einer viel stärkeren Diffu-

26*

sionserregung oder aus direkten Quellen stammenden Lichtes besitze Aus allem Diesen folgt, dass das rothe Blut der Aderhaut selbst in de Augen der Albinos, vornehmlich aber in den gewöhnlichen normale mit schwarzem Pigment bekleideten Augen die Farben der Objekt nur sehr wenig verändern kann.

In dem geschlossenen Auge, besonders wenn dasselbe gegen den helle Himmel gekehrt ist, glaubt man zwar ein röthliches Licht zu empfinden allein diese Erscheinung rührt durchaus nicht von einem Leuchten de Aderhaut, sei es vermöge einer subjektiven Thätigkeit, sei es vermög der Affektion des durch die Augenlider eindringenden Lichtes he sondern hat seinen Grund lediglich in dem Lichte. welches von vorn he durch die durchscheinenden Augenlider, die harte Haut, die Regen bogenhaut und den vorderen Theil der Aderhaut in das Auge dring und welches natürlich von dem durchdrungenen Blute dieser Organ roth gefärbt ist. Je dicker man das geschlossene Auge mit undurchsic tigen Stoffen belegt oder je finsterer der umliegende Raum ist, dest schwächer wird jene Lichterscheinung und desto mehr geh ihre Röthe in gelbliches Weiss über.

Dass aber selbst im finstersten Raume sich gelblich weisses Licht i Auge zeigt, liegt nicht daran, dass die Ader- oder Netzhaut oder son ein Organ wirkliches Licht aussendet, sondern dass theils durch die or ganische Reaktion zwischen Nerven und Blut, theils durch di mechanische Erschütterung der Stäbchen in Folge der Pulsa tion der Arterien und die sonstigen Bewegungen des Blute eine Thätigkeit des Sehnerven hervorgerufen wird, welche noth wendig mit subjektiven Lichterscheinungen verbunden sein mus Eine solche allgemeine Erschütterung der Nervensubstanz wird den auch, weil ein spezieller Farbenprozess eine spezielle Erschütt rungsweise erfordern würde, eher den Eindruck eines weisslichen, a den eines bestimmt gefärbten Lichtes hervorrufen.

Da in der Axe des Sehnerven der Hauptstamm einer Arterie und e ner Vene liegt; so wird ein lebhafter Blutandrang auch leicht eine kon stante Lichtfigur in der Mitte des Gesichtsfeldes erzeugen könne wie ich dieselbe in Zuständen der Angegriffenheit in meinem Auge scho mehrmals wahrgenommen habe.

Die Unwirksamkeit oder Unscheinbarkeit der rothen Farbe des Bl tes der Aderhaut beruht nach Vorstehendem auf der relativen Geringfü gigkeit der Farbenintensität dieses Blutes im Vergleich zu der Intensit des Strahlenbündels, welches das Lichtbild entwirft und das Blut e leuchtet. Die Intensität dieses Strahlenbündels kann nicht nach d Intensität des Netzhautbildes beurtheilt werden, welches in eine todten Auge durch ein Loch in der harten Haut sichtbar wird. Denn die Sichtbarkeit des Netzhautbildes für ein fremdes Auge beruht lediglich a der Diffusion, welche das Strahlenbündel an dem Pigmente der Aderha erleidet: da nun ein Theil der Strahlen dieses Bündels ganz absorbi wird, ein anderer Theil innerhalb des Bündels nach der Pupille h reflektirt wird und der übrige diffundirte Theil sich nach alle Seiten hin verbreitet; so kann die Intensität des einem fremden Au

sichtbaren Netzhautbildes nur ein kleiner Theil der Intensität des physiologisch wirksamen Strahlenbündels ausmachen.

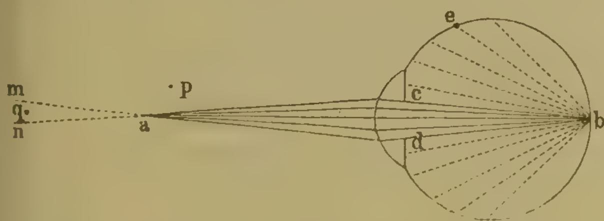
Wie gesagt, die Röthe des Blutes beeinflusst die Farben der äusseren Objekte nur desshalb so wenig, weil die Intensität dieser Röthe sehr gering ist im Vergleich zu der Intensität des Strahlenbündels, nicht aber desshalb, weil die Intensität jener Röthe einen absolut kleinen Werth hätte. Die absolute Intensität dieser Röthe kann vielmehr durch ein hinreichend kräftiges Strahlenbündel so bedeutend gesteigert werden, dass ein fremdes Auge, welches Gelegenheit hat, in jenes erleuchtete Auge hineinzublicken, und welches nur von dem diffundirten Lichte des Blutes, nicht von dem zurückgestrahlten Lichte des Netzhautbildes getroffen wird, sehr wohl die Adern der Aderhaut als rothe Gefässe erkennen kann.

Demgemäss erscheint denn auch die Pupille der Albinos, wenn das Auge günstig erleuchtet ist, dem äusseren Beschauer roth und überhaupt erscheint unter solchen Umständen die Pupille jedes Thieres in der Farbe der Jakobischen Haut oder des Tapetes, also bei vielen Thieren grünlich oder bläulich und beim Menschen, wo das schwarze Pigment vorherrscht, schwarz.

Das Leuchten mancher Augen in der Farbe der Aderhaut ist nur das Ergebniss einer lebhaften Diffusion oder vielmehr erleichterter Reflexion, d. h. einer Konzentration der Diffusionsstrahlen gegen die Axe des Strahlenbündels oder gegen die Augenaxe hin. Dieser Zustand wird durch grosse Glätte der Aderhaut hervorgebracht, ist also, wie diese Glätte mit der Akkommodation variabel. Damit dem Beschauer ein fremdes Auge recht leuchtend erscheine, muss er sich möglichst nahe an der Axe des fremden Auges befinden, ohne doch dem erleuchtenden Lichte den Eintritt zu versperren; ausserdem muss er sich nahezu in der Entfernung befinden, auf welche das fremde Auge akkommodirt ist. Das Auge eines Thieres erscheint uns daher unter sonst geeigneten Umständen am meisten leuchtend, wenn das Thier uns fixirt.

5. Sichtbarkeit eines Netzhautbildes. Wenn das Auge auf den leuchtenden Punkt a akkommodirt ist, sodass sich bei b ein scharfes Netzhautbild erzeugt (Fig. 198); so können alle von dem Netzhautpunkte b diffundirten oder reflektirten Strahlen, welche durch die Pupille cd wieder aus dem Auge heraus treten sollen, nur den Weg irgend eines der eingetretenen Strahlen verfolgen. Alle aus dem Auge zurückkehrenden Strahlen liegen also innerhalb des eintretenden Strahlenkegels acd, dieselben kehren also sämmtlich zu dem leuchtenden oder erzeugenden Punkte a zurück.

Fig. 198.



Hieraus folgt, dass kein ausserhalb des Strahlenbündels acd be-

findliches fremdes Auge das Netzhautbild *b* durch die Pupille *cd* sehen kann: denn nach einem seitwärts liegenden Punkte wie *p* gelangt gar kein Strahl und für jeden hinter *a* in dem Winkel *man* liegenden Punkt wie *q* versperrt das Objekt *a* selbst den Zutritt der von *b* herkommenden Strahlen. Aber auch kein innerhalb des Bündels *acd* befindliches Auge kann dieses Bild sehen; denn sowie sich das beobachtende Auge als fremder Körper in den Kegel *acd* stellt, sperrt es denselben ab, vernichtet also das Netzhautbild *b*.

Durch künstliche Mittel, z. B. durch einen kleinen Spiegel könnte man zwar einige Strahlen des zurückkehrenden Bündels auffangen und an einem anderen Orte sichtbar machen, ohne das erzeugende Bündel ganz zu vernichten: allein wenn auf diese Weise auch wohl das Netzhautbild eines Punktes *a* oder eines sehr kleinen Objektes irgendwo zur Erscheinung gebracht werden könnte; so wäre Diess doch nicht für ein Objekt von irgend einer mässigen Ausdehnung möglich.

Hiernach ist klar, dass das scharfe Netzhautbild eines äusseren Objektes von keinem fremden Auge gesehen werden kann (der Fall ist hier natürlich ausgeschlossen, wo das fremde Auge durch eine Öffnung *e* in der harten Haut in das andere Auge blickt und das Netzhautbild *b* vermöge der Diffusionsstrahlen *be* betrachtet).

Wenn man sich unter *a* einen Netzhautpunkt des fremden Auges denkt; so würde es nach Fig. 199 wohl möglich sein, den Punkt *b* der Netzhaut des anderen Auges zu sehen, wenn derselbe genügend erleuchtet ist und demzufolge hinreichendes Licht diffundirt: beide Augen müssen zu diesem Ende auf parallele Strahlen *ec*, *fd*, also auf unendliche Sehweite akkommodirt sein. Allein jetzt müsste *b* das Bild von *a* und ebenso müsste *a* das Bild von *b* sein. Nun besitzt aber weder *a*, noch *b* eigenes Licht; mithin ist kein Licht zur Erzeugung eines Netzhautbildes weder im ersten, noch im zweiten Auge vorhanden: das erste Auge hat also immer noch keine Gelegenheit, ein scharfes Netzhautbild im zweiten Auge zu sehen.

Fig. 199.

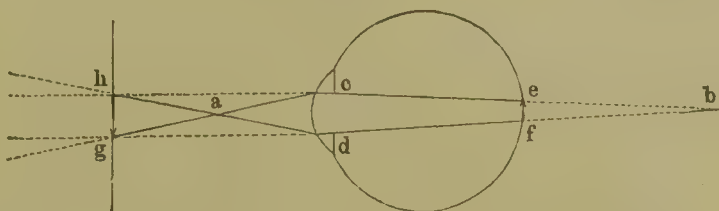


Gesetzt aber den Fall, der Netzhautpunkt *a* im ersten Auge vermöchte Licht auszustrahlen; so würde das erste Auge im zweiten doch kein anderes Netzbautbild erblicken, als welches dem Punkte *a* oder vielmehr einem kleinen Theile seiner eigenen Netzhaut in der Nähe des Punktes *a* entspräche: keineswegs würde von dem Kopfe der Person, welcher das erste Auge angehört, ein Netzhautbild im zweiten Auge sichtbar werden.

Betrachten wir jetzt ein Auge, welches auf den leuchtenden Punkt *a* nicht scharf akkommodirt ist. Ist das Auge nach Fig. 200 zu weit, nämlich auf die Entfernung der Ebene *gh* akkommodirt, sodass der Konvergenzpunkt des von *a* ausgehenden Strahlenbündels hinter die Netzhaut nach *b* fällt und auf der Netzhaut sich der Zerstreuungskreis *ef* bildet; so findet man den Ort der Durchkreuzungspunkte aller von der Fläche *ef* diffundirten Strahlen, oder das optische Bild des Zerstreuungkreises *ef*, indem man die Linien *ca* und *da* bis in die Ebene

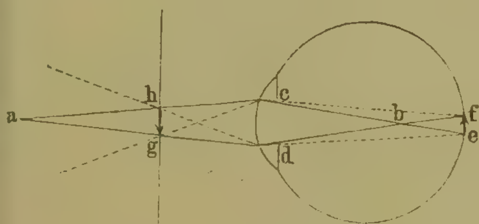
h verlängert. *g* ist dann das Bild von *e* und *h* das von *f*, überhaupt *h* das von *ef*.

Fig. 200.



Ist das Auge nach Fig. 201 zu nahe, nämlich auf die Entfernung der Ebene *gh* akkommodirt, sodass der Konvergenzpunkt *b* des Strahlenbündels vor die Netzhaut fällt; so ergiebt sich das optische Bild *gh* des Zerstreuungskreises *ef* durch dieselbe Konstruktion.

Fig. 201.



In jedem der letzteren beiden Fälle, wo das austretende Strahlenbündel mit dem eintretenden nicht identisch ist, wäre es nun einem fremden Auge wohl möglich, ein Zerstreuungsbild des leuchtenden Punktes *a*, welches sich auf der Netzhaut des gezeichneten Auges darstellt, wahrzunehmen. Denn das optische Bild *gh* des Zerstreuungskreises *ef* kann, wenigstens theilweise von einem fremden Auge direkt und auch mit Hülfe von optischen Gläsern vergrössert oder verkleinert gesehen werden.

Es handelt sich aber hierbei immer nur um das Zerstreuungsbild eines leuchtenden Punktes *a*. Sobald für diesen Punkt *a* ein Objekt von irgend einer nennenswerthen Ausdehnung gesetzt wird, kann von dem Sehen des Netzhautbildes dieses Objektes wiederum keine Rede sein: denn in Fig. 200 verdeckt ein solches Objekt den grössten Theil der Strahlen, welche das optische Bild bei *gh* erzeugen würden, und in Fig. 201 verdeckt das beschauende Auge, indem es sich zwischen *a* und *h* stellt, den grössten Theil des strahlenden Objektes, verhindert also das Zustandekommen des Netzhautbildes und des optischen Bildes bei *gh*; ausserdem ist, wenn der Abstand des Bildes *gh* von *a* ein für die Betrachtung erforderliches Maass erhalten soll, die Zerstreuung so erheblich, dass selbst die sichtbaren Rudimente des Bildes *gh* nicht mehr den Namen eines Bildes der betreffenden Theile des Objektes verdienen.

Aus allem Vorstehenden ist nun klar, dass es zu den Unmöglichkeiten gehört, sein Ebenbild als Netzhautbild in dem Auge eines Anderen zu sehen.

6. Spiegelbilder auf der Hornhaut und Linse. Alle Bilder von äusseren Objekten und von seiner eigenen Person, welche man in dem Auge eines Anderen oder auch in dem Spiegelbilde seines eigenen Auges erblickt, sind nur Spiegelbilder, welche sich entweder auf der Horn-

haut oder auf der Vorder- oder Hinterfläche der Linse des frem den Auges abbilden.

Die Hornhaut erzeugt verkleinerte aufrecht stehende Spiegel bilder. Ebenso die Vorderfläche der Linse. Die konkave Hinter fläche der Linse dagegen liefert verkleinerte verkehrte Bilder.

Die Bilder an der Hinterfläche der Linse sind nur durch künstliche Beleuchtungsmittel zu Stande zu bringen: die Bilder, welch man unter gewöhnlichen Verhältnissen auf dem Auge eines Anderen sieht rühren nur von der Hornhaut her. Dieselben erscheinen, wenn sie vo lichtschwachen Objekten erzeugt werden, an den Stellen am deutlichste wo sich ein schwarzer Hintergrund befindet, also vor der Pupille: da Ebenbild, welches wir von uns in der Pupille eines Anderen erblicke und welches der Pupille den Namen gegeben hat (vergl. die Note au Seite 61), stammt von der Hornhaut her. Heller erleuchtete Objekte wie die Fenster eines Zimmers, spiegeln sich auch auf der vor der Iri liegenden Hornhautfläche deutlich ab. Die Spiegelbilder auf der Vor derfläche der Linse sind kleiner, als die auf der Hornhaut un erscheinen entfernter; sie sind aber so lichtschwach, dass sie unte gewöhnlichen Verhältnissen nicht wahrgenommen werden.

Spiegelbilder auf krummen Oberflächen werden umso kleiner, j stärker die Krümmung wird. Diese Thatsache gewährt das Mitte die Veränderung der Wölbung der Hornhaut und der beiden Linsenflä chen unter verschiedenen Umständen, namentlich bei den Akkommoda tionsveränderungen zu beobachten. Bei der Akkommodation au die Nähe, wo die Linse sich stärker wölbt, verkleinern sich die Lin senbilder; bei der Akkommodation auf die Ferne vergrössern sie sich

7. Die Schwärze der Pupille. Nach allem Vorstehenden könne nur von der Netzhaut eines unvollkommen akkommodirten Auges wenig Strahlen in das Auge eines Beobachters gelangen: daraus folgt zunächst dass Objekte von mässiger Helligkeit überhaupt nicht im Stande sind die Netzhaut eines Auges so stark zu erleuchten, um für ein anderes Aug sichtbar zu sein. Jedenfalls gehören hierzu intensiv leuchtende Ob jekte. Überschreitet aber ein solches leuchtendes Objekt a die mittler Sehweite des zu beobachtenden Auges nur wenig; so befindet sich diese Auge immer in dem Falle von Fig. 201, d. h. es akkommodirt sich au eine nähere Entfernung gh und sein optisches Bild gh fällt zwi schen das leuchtende Objekt und das Auge, nimmt also eine solche Stel lung ein, dass ein fremdes Auge dasselbe nicht beobachten kann, ohne de grössten Theil der Strahlen zu vernichten. Nähere Objekte von starke Leuchtkraft kommen aber unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht vor: e ist daher klar, dass die Pupille eines Auges einem andere Auge schwarz erscheinen muss, wie helle Bilder jenes Auge au seiner Netzhaut auch empfangen möge.

Ferner ist klar, dass die Schwärze der Pupille umso tiefer sein muss, je besser das Auge auf das Objekt, dessen Netzhautbild es soeben empfängt, akkommodirt ist, weil von dem Netzhautbild eines gut ak kommodirten Auges gar kein Strahl in ein fremdes Auge gelangen kann.

Je unvollkommener das Auge auf sein Objekt akkommodirt ist, wie es namentlich bei einem grossen körperlichen leuchtenden Objekte, z. B. beim Blicke in die helle Luft der Fall ist, desto mehr Strahlen vermögen von der diffundirenden Aderhaut in ein fremdes Auge zu gelangen, desto weniger schwarz erscheint also die Pupille oder desto grauer wird sie.

Zwischen diesem Ergrauen einer menschlichen Pupille bis zum Leuchten der Pupillen mancher Thiere und dem Erscheinen der Farbe der Aderhaut oder des Tapetes bei Albinos und gewissen Thieren liegen nur die verschiedenen Grade der Diffusionsfähigkeit; namentlich trägt aber grosse Glätte der Aderhaut dazu bei, die zentralen Diffusionsstrahlen zu verdichten oder die Diffusion der Reflexion zu nähern.

8. Der Augenspiegel. Die vorstehenden Betrachtungen liefern die Anhaltspunkte für die künstlichen Hülfsmittel, welche zu ergreifen sind, um die Netzhaut eines fremden Auges zu beobachten. Es muss nach Fig. 200 ein stark leuchtender Punkt a möglichst nahe vor das zu beobachtende Auge gebracht werden, um einen möglichst grossen, möglichst intensiven und in möglichst divergenten Richtungen diffundirenden Zerstreuungskreis ef zu erzeugen. Das optische Bild dieses Zerstreuungskreises fällt in gh, also vor den leuchtenden Punkt; es können also einzelne Theile dieses Bildes gh entweder direkt oder auch, wenn man will, mit Hülfe von Gläsern betrachtet werden.

Da das Bild gh seinen Ort ändert, sowie das diffundirende Auge seinen Akkommodationszustand ändert; so muss das beobachtende Auge den Bewegungen des Bildes gh folgen. Will man Diess vermeiden; so muss das Bild gh durch einen verstellbaren optischen Apparat betrachtet werden.

Hierbei ist zu beachten, dass zwar von jedem einzelnen Punkte des Bildes gh ein Strahlenkegel ausgeht, dass man also einen einzelnen dieser Punkte oder auch ein kleines Stück des Bildes gh ohne weitere Umstände wie ein daselbst befindliches leuchtendes Objekt beschauen kann. Will man jedoch einen möglichst grossen Lichteffekt haben, also ein möglichst grosses Stück des Bildes gh auf einmal und zwar möglichst konzentrirt auf eine kleine Fläche betrachten, was jedenfalls zur Deutlichkeit viel beiträgt; so müssen die durch das Bild gh gehenden Strahlen durch ein Glas, resp. durch ein System von Gläsern vereinigt werden. Um die geeignete Wahl der Gläser zu treffen, ist zu bemerken, dass die Axen aller Strahlenkegel, welche von den einzelnen Punkten des Bildes gh ausgehen, sämmtlich nach dem Mittelpunkte der Pupille cd oder nach dem Pole der Hornhaut konvergiren.

Ich wiederhole, dass gh das Bild eines Zerstreuungskreises des leuchtenden Punktes a, und weil dasselbe auf der Diffusion der Aderhaut beruht, ein optisches Bild der Aderhaut und zwar in verkehrter Stellung ist, dass also in demselben durchaus nicht eine Abbildung eines auf ef liegenden, von irgend einem äusseren Objekte erzeugten Licht- oder Netzhautbildes erwartet werden kann.

Durch Vorstehendes erläutert sich der von Ruete verbesserte Augenspiegel, welcher den Zweck hat, das Innere des Auges zu untersuchen.

Fig. 202.

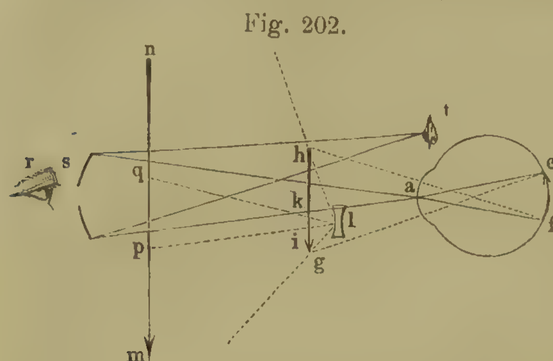
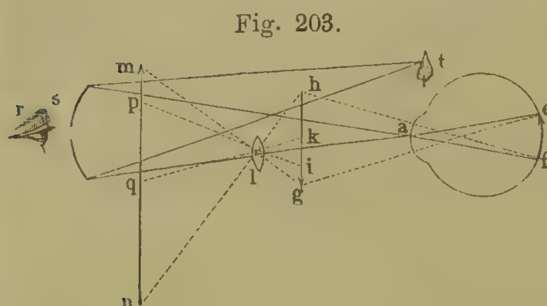


Fig. 203.



In den Grundrissen Fig. 202 und 203 ist *acf* das zu untersuchende Auge, *t* ein daneben gestelltes Licht, *s* ein Hohlspiegel, welcher das von *t* ausgehende Licht in dem Fokus *a* vereinigt. Dieser Spiegel hat in der Mitte ein Loch, durch welches das beobachtende Auge *r* blickt. Mit Hülfe des Hohlspiegels kann man also den das Auge erleuchtenden Punkt *a* bis dicht vor die Hornhaut bringen. *ef* ist das erleuchtete Netzhautfeld, dessen Diffusionsstrahlen in der Akkommodationsweite des Auges das verkehrte optische Bild *g h* entwerfen. Will man nun dieses Bild recht stark vergrössert sehen; so muss man sich auf einen kleinen Theil *ik* desselben (Fig. 202) beschränken: man wendet zu dem Ende die Zerstreuungslinse *l* an, welche von *ik* ein ferneres optisches Bild *p q* entwirft, welches von *r* aus beobachtet wird. Will man einen recht grossen Theil *ik* (Fig. 203) jenes Bildes übersehen; so muss man sich mit einer schwächeren Vergrösserung begnügen: man bringt alsdann die Sammellinse *l* in Anwendung, welche das Bild *p q* erzeugt.

Ich halte es für nöthig, zur Verhütung von Irrthümern über die Lage der durch den Augenspiegel beobachteten Theile der Netzhaut gegen die Augenaxe hervorzuheben, dass durch das konkave Glas (Fig. 202), sowie auch durch gar kein Glas das Bild der Netzhaut verkehrt, durch das konvexe Glas (Fig. 203) dagegen recht erscheint.

Gleichzeitig mit dem Stücke *e f* der Netzhaut erblickt man auch die Hornhaut und die Iris nebst der Pupille, überhaupt den äusseren Augapfel und zwar in folgender Weise. Bei unbewaffnetem Auge erscheint die Netzhaut verkehrt und vergrössert, der äussere Augapfel dagegen recht und in richtiger Grösse.

Durch das Konkavglas erscheint die Netzhaut verkehrt und stark vergrössert, der äussere Augapfel dagegen recht und verkleinert.

Durch das Konvexglas erscheint die Netzhaut recht und vergrössert, der äussere Augapfel dagegen verkehrt und vergrössert.

Immer also ist die Stellung der Netzhaut gegen den äusseren Augapfel die umgekehrte von der in der Erscheinung sich darbietenden. Nur für den Fall, wo das Auge auf den leuchtenden Punkt *a* nicht zu weit, sondern zu nahe akkommodirt wäre,

o also die Spitze des von a ausgehenden Strahlenbündels vor der Netzaut läge, würde sich das Bild der Netzhaut gegen die vorstehende Stelng umkehren und mit der Erscheinung des äusseren Augapfels in bereinstimmung kommen. Allein dieser Fall ist bei dem Gebrauche es Augenspiegels nicht wohl zu erzielen: derselbe setzt eine grosse Entrnung des leuchtenden Punkts a, also etwa einen direkten Sonnenrahl voraus.

Schliesslich bemerke ich noch, dass das Bild gh von dem Theile f der Netzhaut in dem Verhältnisse des Abstandes jenes Bildes vom reuzungspunkte im Auge zu dem Abstande der Netzhaut von demselben reuzungspunkte grösser ist. Die Netzhautgebilde müssen uns lso, durch den Augenspiegel betrachtet, selbst wenn man ar keine Vergrösserungsgläser anwendet, doch bedeutend ergrössert erscheinen. Wenn der erleuchtende Punkt a innerhalb er mittleren Sehweite liegt, wird sich das Auge nahezu auf die mittlere ehweite von 250 Mm. akkommodiren. Da nun der Abstand des Kreuıngspunkts von der Netzhaut 12 bis 14 Mm. beträgt; so werden die etzhautgebilde vermöge der Brechung der von der Netzhaut herkomenden Strahlen in den Medien des Auges in der Regel etwa 20-mal ergrössert erscheinen.

Der äussere Theil des Augapfels, insbesondere die Pupille, erscheint ei dieser Beobachtung in natürlicher Grösse. Dieser Augapfel liegt nter den vorstehenden Umständen in der Entfernung von 250 Mm. hiner dem Bilde gh. Betrachtet man nun das letztere Bild aus der mittren Sehweite von 250 Mm.; so steht der Augapfel vom beobachtenden uge r 500 Mm. oder doppelt so weit als das Bild gh ab. Demzufolge eckt die Projektion des Bildes gh auf dem Augapfel ein doppelt so rosses Feld, also ein Feld, welches 40-mal so gross ist, als die Netzautstelle ef. Das Netzhautbild, welches sich auf die volle Pupille proizirt, hat daher etwa nur den 40-sten Theil der Pupillenweite zum Durchmesser.

Es ist leicht, diese Verhältnisse für den allgemeineren Fall zu betimmen, wo das Bild gh nicht gerade im Abstande der mittleren Sehreite, sondern in einem beliebigen Abstande a von dem beoachteten Auge egt, dessen Netzhaut in dem Abstande c (= nahezu 13 Mm.) hinter einem Kreuzungspunkte liege. Befindet sich nun das Auge r, indem es as Bild gh ohne optische Gläser, also aus der mittleren Sehweite von 250 Mm. betrachtet, in dem Abstande b von dem beobachteten Auge, sodass $a = b - 250$ ist; so ist das Bild gh $\frac{a}{c} = \frac{b - 250}{c}$ oder nahezu $\left(\frac{b}{13} - 20\right)$ mal so gross als das Netzhautgebilde ef und die Projektion enes Bildes deckt auf dem Augapfel eine Fläche, deren Durchmesser $\frac{a}{c} \cdot \frac{b}{250} = \frac{b\,(b - 250)}{250\,c}$ oder nahezu $\frac{b\,(b - 250)}{3250}$ mal so gross ist.

Umgekehrt ergiebt die Grösse oder noch unmittelbarer die Entfernung des Bildes gh von dem beobachteten Auge die Sehweite

dieses Auges oder den augenblicklichen Akkommodationszustand desselben (welchen man auch wohl den Brechungs- oder Refraktionszustand nennt).

§. 29.

Verhältniss zwischen der absoluten und scheinbaren Grösse, Lichtstärke und Farbe und zwischen der optischen Täuschung.

1. Absolutes Wesen und Scheinbarkeit. Wir haben im Vorstehenden in Beziehung auf Grösse, Lichtstärke und Farbe zuweilen das Wort absolut, wirklich, wahr im Gegensatze zum Worte scheinbar gebraucht. Um über diesen Gegensatz kein Missverständniss aufkommen zu lassen, bemerken wir, dass wir unter den ersteren Ausdrücken doch immer nur denjenigen Werth der fraglichen Eigenschaften verstehen wollen, welchen dieselben unter den günstigsten, unserem Auge am besten entsprechenden Verhältnissen annehmen, mit welchen also der vollkommenste Grad von Deutlichkeit, Bestimmtheit oder Bewusstsein verbunden ist. Wir verstehen darunter also nur den Normalzustand des Verhältnisses, welches zwischen der objektiven Wirklichkeit oder der absoluten Wahrheit und unserer subjektiven Auffassung besteht. Im Übrigen ist die normale Grösse, Lichtstärke und Farbe ebenso gut nur eine scheinbare, wie jede andere abnorme.

Absolute Grösse, Lichtstärke und Farbe sind überhaupt, wenn man darunter das Wesen der objektiven Wirklichkeit oder der absoluten Wahrheit verstehen wollte, sinnlose Ausdrücke. Wirklichkeit und geistige Vorstellung sind zwei ganz heterogene Dinge: von absoluter Grösse, Lichtstärke und Farbe könnte man in dieser Bedeutung vernünftiger Weise gar nicht reden, weil wir überhaupt unfähig sind, das Wirkliche in uns aufzunehmen. Die geistigen Vorstellungen von Grösse, Form, Richtung, Ort und Entfernung sind nur Abstraktionen, welche wir von der Wirklichkeit abgezogen haben (oder Verstandesbegriffe, erzeugt durch die Denkthätigkeit), der geistige Eindruck von Lichtstärke und Farbe ist eine durch äussere Impulse veranlasste Empfindung, erzeugt durch die Gemüthsthätigkeit; beides sind subjektive Formen und Prozesse, welche nur der menschliche Geist in seiner eigenthümlichen Thätigkeit aus der zwischen ihm und der Aussenwelt bestehenden Reaktion zu bilden vermag, welche also nur eine menschliche, durchaus keine objektive Bedeutung haben, wiewohl zwischen jener subjektiven und dieser objektiven Bedeutung eine bestimmte naturgesetzliche Beziehung besteht. (Vergl. meine Schrift „Körper und Geist".)

2. Beziehung zwischen den wirklichen Dingen und den geistigen Vorstellungen. Grösse, Lichtstärke und Farbe besteht also

icht in der Wirklichkeit, sondern nur in unserer Vorstellung und in un-
rem Gemüthe. Insofern beruhen jene Eigenschaften auf Schein. Das
bjektive, was ihnen zu Grunde liegt, könnte in anders organisirten
Vesen ganz andere Vorstellungen erwecken; so könnten z. B. die Farben
uf gewisse Wesen denselben Eindruck machen, wie auf uns die Töne,
der es könnten die Lichtintensitäten die Wirkung von Wärmeinten-
itäten, oder es könnten die Entfernungen d. h. die räumlichen Grössen
ie Wirkung von mechanischen Spannungen erzeugen.

Man könnte sich z. B. sehr wohl denken, dass das Lichtbild auf der
etzhaut mit seinen verschiedenen Farben und Helligkeiten einen aku-
tischen Eindruck auf uns machte: wir würden dasselbe vollständig em-
finden, wenn das zum Ohre gewordene Auge nur fein genug organisirt
äre, um zwei gleichzeitig erschallende Töne nach der Verschiedenheit
hres Ausgangspunktes zu unterscheiden, was unser wirkliches Ohr zwar
ur sehr starke und aus sehr verschiedenen Örtern des Raumes kommende,
icht aber für schwache und aus nahe gelegenen Örtern kommende Töne
ermag.

Vorstehendes ist das Beispiel der Verwandlung einer Empfindung
n eine qualitativ andere (denn Farbe und Ton sind Empfindungen,
eine Vorstellungen oder Begriffe). Um ein Beispiel von der Verwand-
ung einer Vorstellung in eine andere zu erhalten, braucht man sich
ur zu denken, kraft unseres Vorstellungsvermögens seien wir nur im
tande, uns momentan die örtlichen Verhältnisse eines einzigen Punk-
es oder doch nur einer sehr kleinen Fläche zu vergegenwärtigen,
nd die Vorstellung einer grösseren Fläche erfordere das allmähliche
inübergehen unserer Gedanken von Theil zu Theil nach einem bestimm-
en Gesetze der Aneinanderreihung, welches der Geist bei der Affektion
er Netzhaut durch das Lichtbild unbewusst ausübt. Alsdann verwandelt
ich das Nebeneinander des Raumes in ein Nacheinander der
eit, und man kann sich denken, dass Dasjenige, was wir jetzt
ine Entfernung nennen, für ein anderes Geschöpf zu einer Dauer
ürde.

Ebenso kann man sich denken, dass eine Empfindung zu einer
orstellung würde und umgekehrt, dass z. B. eine Vibration, welche
ei uns die Empfindung einer Farbe verursacht, bei einem anderen Ge-
chöpfe die Vorstellung einer Quantität oder Länge, gestützt auf die
chwingungszahl erweckte.

Ausserdem aber könnten die Angriffe, welche der Äther und das
onderabele durch räumliche Bewegungen und stoffliche Veränderungen
uf unsere Sinne hervorbringen und welche bei uns die sinnlichen Em-
findungen und Vorstellungen von den Dingen der Aussenwelt erwecken,
ei anderen Geschöpfen vermöge einer ganz verschiedenen Organisation
es Sinnesapparates Wirkungen hervorbringen, welche von unseren Em-
findungen und Vorstellungen ganz abweichen. Es können Geschöpfe
eben, welche der Begriffe von Raum und Zeit, der Empfindungen von
on und Farbe, von Druck, Schmerz u. s. w. unfähig sind und welche
ierfür ganz andere Affektionen besitzen, die uns fremd sind.

Die Vorstellungen und Empfindungen, welche die Geschöpfe von den

Dingen der Aussenwelt haben, sind also sehr verschiedenartig; sie sind bedingt durch die besondere Organisation.

Das wahre Wesen der Dinge, d. h. die wirklichen Eigenschaften derselben, welche jene Vorstellungen und Empfindungen hervorbringen, sind etwas ganz Anderes, als diese Sinneseindrücke. Sie sind etwas Absolutes, Bestimmtes, welches aber den Geschöpfen verborgen bleibt.

Bei Geschöpfen, deren Organisation zwar in gewissen Grundzügen, nicht aber in allen Einzelheiten qualitativ und quantitativ gleich ist, werden die Sinneseindrücke zwar auch in gewissen allgemeinen Beziehungen, nicht aber durchgehends identisch sein.

Wenn z. B. ein Infusionsthierchen, deren viele Millionen in einem Kubikzoll Tripel leben, für das Licht empfänglich ist; so muss demselben doch unzweifelhaft ein Raum unendlich gross erscheinen, welchen wir unendlich klein nennen würden: dasselbe wird noch Objekte und Organisationen deutlich sehen, welche selbst vor unserem bewaffneten Auge verschwinden: was wir für einen formlosen Massenpunkt halten, wird jenem Thiere als eine Welt von Gestaltungen erscheinen. Umgekehrt müsste einem Wesen, dessen Organismus Planetensysteme umspannte, unsere unendlich mannichfaltige irdische Welt wie ein verschwindendes Massenatom vorkommen.

Nehmen wir daher den obigen Ausdruck von wirklicher Grösse, Lichtstärke und Farbe auch nur in seiner zulässigen Bedeutung, und verstehen wir darunter den subjektiven Werth jener Eigenschaften für eine menschliche Organisation; so müssen wir gleichwohl bekennen, dass auch dieser Werth kein fester, bestimmter, allgemeiner sein kann, sondern dass derselbe von der speziellen Organisation des Individuums abhängig sein wird. Denn ohne Zweifel wird diese Organisation irgend einen Einfluss auf die Beziehung haben, welche zwischen der Wirklichkeit und dem nur aus dieser Organisation entspringenden Geiste besteht. Mit anderen Worten, dasselbe Objekt muss den verschiedenen Menschen und Thieren in verschiedener Grösse, Helligkeit und Farbe erscheinen.

3. Veränderlichkeit der Vorstellungen. Dass uns ein Objekt, je nachdem es uns näher oder ferner liegt, grösser oder kleiner, heller oder dunkeler erscheint, ist ebenfalls ein direkter Beweis, dass wirkliche Grösse und Helligkeit durchaus nichts Festes und Sicheres ist.

Wir finden auch, dass unsere eigenen Vorstellungen von den Eigenschaften eines Gegenstandes im Laufe der Zeit, d. h. in Folge der Ausbildung oder Veränderung unseres Körpers (mit Einschluss des Gehirnes und Geistes) Veränderungen erleiden. Namentlich erscheinen uns im späteren Alter, als Erwachsene, die Dinge kleiner als in der Jugend, und vornehmlich hat mancher Krankheitszustand einen Einfluss auf die Grösse, Helligkeit und Farbe der Gegenstände, wie auf deren Geschmack und Geruch.

Also auch der Normalwerth, welchen die optischen Eigenschaften unter den günstigsten Verhältnissen annehmen, ruht auf keiner allgemein sicheren, sondern nur auf einer individuellen Grundlage.

4. **Normalität und Scheinbarkeit.** Für jedes Individuum ist der Normalwerth der besprochenen Eigenschaften ein bestimmter, welchen man in der Sprache des gewöhnlichen Lebens den wirklichen Werth zu nennen pflegt. Dieser Normalwerth ist so gut ein scheinbarer wie jeder andere: wir zeichnen ihn jedoch vor allen übrigen aus, weil er demjenigen Scheine entspricht, welcher bei vollkommenster Akkommodation unseres Gesichtsorganes entsteht, und verstehen im engeren Sinne unter einem scheinbaren Werthe einen solchen, welcher der unvermeidlichen Unvollkommenheit des menschlichen Organes unter sonst gewöhnlichen Verhältnissen entspricht, wie z. B. die Grösse, in welcher uns ein ziemlich entfernter Gegenstand erscheint, eine Grösse, welche kleiner ist als die normale, weil sich unser Auge auf die grossen Entfernungen nicht mehr genau akkommodirt.

Insofern diese Vorstellungen der Dinge noch unter gewöhnlichen Verhältnissen entstehen, also nur auf der Unvollkommenheit unseres eigenen Organs nicht auf der Ungunst äusserer Umstände beruhen, ist es ganz vernünftig, dieselben mit einem besonderen Namen zu belegen, wie es auch vorstehend geschehen ist, indem wir dafür die Ausdrücke scheinbare Grösse, Lichtstärke und Farbe gebrauchten.

5. **Täuschung.** Es bleibt uns alsdann noch eine besondere Klasse von Erscheinungen zu betrachten, deren Abnormität auf dem Zusammentreffen ungewöhnlicher oder abnormer Verhältnisse beruht. Obgleich dem Wesen nach auch nur scheinbare Grössen wie die übrigen, und ebenfalls nur veranlasst durch die Unfähigkeit des Auges sich gehörig zu akkommodiren; so rechtfertigt es sich doch, diese Erscheinungen, da sie durch abnorme und meistens durch die Konkurrenz fremder Objekte veranlasst werden, also unter den Verhältnissen des gewöhnlichen Sehens nicht auftreten, mit einem besonderen Namen zu belegen. Dieser Name heisst optische Täuschung. Wir werden uns in den nachfolgenden Paragraphen mit den wichtigsten Phänomenen dieser Art beschäftigen.

§. 30.

Einfluss des freien Willens auf die Akkommodation.

1. **Freiwillige Veränderung der Länge der Augenaxe.** Unserem Willen ist eine gewisse selbstständige oder vom äusseren Lichtreize unabhängige Herrschaft über den Zustand des Auges gestattet, welche, wenn sie angewandt wird, Täuschungen über das fixirte Objekt zu Stande bringt. Die hauptsächlichen Veränderungen des Akkommodationszustandes, welche sich freiwillig hervorbringen lassen, sind folgende.

Wenn wir die Fähigkeit, das Auge freiwillig zu drehen, zu rollen oder zu richten, also auch die Fähigkeit, das Auge nicht direkt auf das Objekt, sondern nebenbei zu richten, auf sich beruhen lassen, indem aus dieser willkürlichen Thätigkeit nur unbedeutende optische Täuschungen entspringen; so finde ich, dass der freie Wille besonders zwei

Thätigkeiten beeinflussen kann, vermöge deren wir im Stande sind, das Auge falsch zu akkommodiren.

Die erste dieser beiden Thätigkeiten betrifft die Sehweite oder die Länge der Augenaxe mit den dazu gehörigen Veränderungen der Krümmungen und Dichtigkeiten. Wir können, indem das Bild eines vor uns liegenden Objektes in unser Auge fällt, jeden beliebigen zwischen diesem Objekte und unserem Auge liegenden Punkt des Raumes zu demjenigen Punkte wählen, auf welchen wir das Auge (sowohl beim Sehen mit beiden, wie auch beim Sehen mit einem Auge) akkommodiren. Auf einen hinter dem Objekte liegenden Punkt das Auge zu richten, ist schwerer, namentlich wenn das Objekt schon ziemlich entfernt oder wenn dasselbe gross oder sehr hell ist: am leichtesten ist es zu bewerkstelligen, wenn man neben dem Objekte vorbei auf ein entferntes und kräftig wirkendes Nebenobjekt blicken kann. Wir können also das Auge auf eine kürzere Sehweite, als dem Objekte entspricht, häufig auch auf eine längere Sehweite freiwillig einrichten. Hierbei fährt das Objekt, wenn man mit beiden Augen sieht, in zwei Figuren auseinander, welche den getrennten Lichtbildern der beiden auf einen näheren oder entfernteren Punkt konvergirenden Augen entsprechen. Beim Sehen mit einem Auge bleibt das Objekt einfach stehen. In allen Fällen fühlt man aber, dass das Auge das Objekt nicht mehr fixirt.

Mit dieser Akkommodation auf einen dem Objekte nicht angehörigen Punkt ist ebensowohl eine Veränderung der Länge der Augenaxe, als eine Veränderung der Wölbung und der Dichtigkeit der Linse verbunden. Da jedoch der fixirte Punkt nur einen sehr unbedeutenden Grad von Helligkeit und Farbe besitzt; so werden diese erzwungenen Akkommodationsakte nicht in dem normalen Verhältnisse zu einander stehen.

Wie schwierig es ist, ein lichtschwaches Objekt zu fixiren, wenn ein lichtstarkes oder ein sehr nahes, also überhaupt ein durch seine Strahlen stark reizendes Nebenobjekt auf das Auge wirkt, lehrt folgendes Experiment.

Man halte eine Lupe in solcher Entfernung vor ein Objekt, dass sich vor der Lupe, d. h. zwischen dem Auge und der Lupe das verkehrte optische Bild erzeugt. Dieses Bild liegt in der Luft und ist sehr lichtschwach, da die meisten Lupen nur die Zentralstrahlen ohne grosse Schwächung und Aberration durchlassen. Dieses Bild wird man immer undeutlich sehen, weil man unwillkürlich die Lupe selbst fixirt. Sobald man aber das Auge näher akkommodirt und die richtige Sehweite trifft, stellt sich das Bild in überraschender Schärfe dar.

Durch den freien Willen kann man überhaupt nur die Nerventhätigkeit über das durch den Lichtreiz erzeugte Maass erhöhen, nicht namhaft unter dieses Maass vermindern, was auch sehr begreiflich ist, da der vorhandene Lichtreiz nicht beseitigt werden kann. Demgemäss kann man wohl, angesichts eines Objektes, das Auge bedeutend näher akkommodiren, nicht aber bedeutend entfernter. Um eine wirksame Akkommodation auf eine grössere Sehweite zu erzielen, muss das Auge nothwendig Gelegenheit haben, an dem Objekte vorbei oder durch dasselbe hindurch auf entferntere wirkliche Objekte blicken zu können, um auf

diese Weise das Hauptobjekt aus der Sehaxe zu drängen und dadurch seinen Lichtreiz zu erniedrigen.

Die Akkommodation auf eine grössere Sehweite gelingt daher auch besser bei einem dunkelen, als bei einem hellen Objekte.

2. Freiwillige Veränderung der Wölbung und Dichtigkeit der Linse. Die zweite der gedachten beiden Thätigkeiten betrifft die Wölbung und Dichtigkeit der Linse. Dass sich mit der vorstehenden Akkommodation auf eine unrichtige Sehweite in Folge der allgemeinen Abhängigkeit der einzelnen Akkommodationsakte auch eine unrichtige Wölbung und Dichtigkeit der Linse verbindet, ist soeben schon erwähnt: ich bin aber der Ansicht, dass man auch unabhängig von der Sehweite die Wölbung und Dichtigkeit der Linse freiwillig in abnormer Weise ändern könne. Ich vermag nämlich bei unveränderter Fixirung eines Objektes das Auge so zu verändern, dass das Objekt undeutlicher wird, indem alle seine Umrisse unbestimmter werden und anschwillen. Hierbei erscheint das Objekt, wenn ich auch beide Augen gebrauche, als einfaches Objekt. Indessen hat es unverkennbar die Neigung, in zwei Figuren auseinander zu fahren, thut Diess auch zuweilen und erscheint alsdann kleiner und lässt sich nur mit einiger Anstrengung zusammenhalten, ein Beweis, dass die Veränderung der Wölbung doch induktorisch die entsprechende Veränderung der Gesammtakkommodation mit korrespondirender Konvergenz und Länge der Augenaxe herbeizuführen strebt, dass jedoch, solange die Verdopplung des Objektes nicht stattfindet, auch nur einseitige Veränderung der Linse vorhanden ist. Hieraus entspringt, da die Strahlen jetzt nicht mehr auf der Netzhaut konvergiren, zunächst die Undeutlichkeit des Bildes. Die stärkere Wölbung und Verdichtung der Linse bewirkt ausserdem eine Vergrösserung des Netzhautbildes, also eine scheinbare Vergrösserung des Objektes.

Durch diese Veränderung wird das Urtheil über die Entfernung nur wenig affizirt. Dieselbe ist überhaupt keine normale Veränderung der Linse, sondern besteht in partiellen Änderungen der Wölbung und Dichtigkeit. Die mittlere Wölbung und Dichtigkeit der Linse wird dadurch nicht geändert. Im nächsten Paragraphen werden wir das Vorhandensein dieser und der in No. 1 besprochenen Veränderung des Auges experimentell konstatiren.

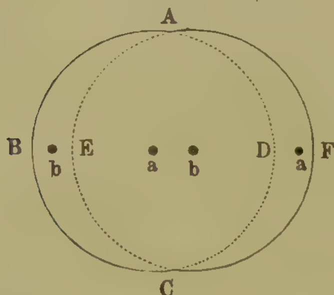
3. Freiwillige Veränderung der allgemeinen Spannung. Schliesslich hebe ich noch hervor, dass unser Wille über die Akkommodation des Auges noch in der Weise gebietet, dass wir den Zustand der Akkommodation durch Erhöhung der dazu erforderlichen Spannungen zu steigern vermögen. Diess geschieht, indem wir einem Gegenstande eine grössere Aufmerksamkeit zuwenden. Dem aufmerksamen oder scharf beobachtenden Auge erscheinen die Objekte deutlicher und intensiver, dem unaufmerksamen undeutlicher und matter.

§. 31.

Erscheinungen beim Blicke durch mehrere feine Öffnungen

1. Vervielfältigung beim Blicke durch mehrere feine Löcher Wenn man zwei feine Löcher in einem nahen Abstande von einander, welche kleiner als der Durchmesser der Pupille ist, in ein Kartenblatt sticht, und durch dieselben, indem man das Kartenblatt nahe vor das Auge hält, au einen schwarzen Punkt blickt, welcher sich auf einem in einiger Entfernung gehaltenen weissen Blatte Papier befindet; so bilden die beiden Löche zwei stark vergrösserte helle Kreise, welche nach Fig. 204 zum Theil auf einanderfallen, sodass der gemeinschaftliche mittlere Theil $AECD$ am hellste und die Seitentheile weniger hell erscheinen. Hält man nun das Blatt so dass man den schwarzen Punkt in dem gemeinschaftlichen Theile ED zu sehe bekömmt; so erscheint derselbe doppelt wie a,b zeigt. Verschiebt man da Blatt nach links so weit, dass der Punk in dem rechten einfachen Abschnitt DF des rechten Kreises oder durch da rechte Loch erscheint; so sieht man de schwarzen Punkt einfach und zwar verschwindet der vorher rechts liegende Punkt b und es bleibt der links liegende Punkt a sichtbar. Be der Verschiebung des Kartenblattes nach rechts erscheint in dem Abschnitte BE der Punkt b.

Fig. 204.



Macht man die Löcher in dem Kartenblatte nicht rund, sondern i Form von schmalen Ritzen oder dreieckigen Keilen, so behalten dieselbe auch in der Vergrösserung diese Grundform bei, wiewohl die scharfe Ecken sich etwas abrunden.

Ist das Loch recht fein; so wird allerdings die Ausrundung de Ecken so bedeutend, dass derselbe nahezu als Kreis erscheint, welche Form das Loch auch habe. Dieser Kreis ist auch immer nahezu gleich gross gleichviel ob der Durchmesser des feinen Loches sich vergrössert ode verkleinert. Alles dieses ist lediglich die Wirkung der bei so grosse Nähe des Kartenblattes sich bildenden Zerstreuungskreise, welche vo jedem Punkte des leuchtenden Loches einen grossen durch die Öffnung der Pupille bedingten Lichtkreis auf der Netzhaut erzeugen, desse Dimensionen die Dimensionen des Loches selbst bedeutend übertrifft sodass alle diese mit dem grössten Theile ihrer Flächen übereinander fal lenden Kreise die Form eines einzigen nicht ganz scharf begrenzten Krei ses von der Grösse jedes einzelnen Zerstreuungskreises annehmen müsse

2. Verwechslung der Bilder. Der durch die Löcher betrachtet schwarze Punkt behält ebenfalls seine Gestalt bei, sodass, jenachdem ma an seine Stelle einen kleinen Pfeil oder einen Strich oder eine andere Fi

gur setzt, durch die Löcher dieselbe Figur in derselben Lage doppelt resp. einfach erscheint (Fig. 205). Hieraus geht hervor, dass eine Umkehrung der Seiten der einzelnen Bilder oder eine sonstige Veränderung derselben in Folge des Sehens durch die beiden Löcher nicht stattfindet.

Fig. 205.

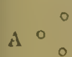




Man sieht aber durch die unter No. 1 bezeichnete Verschiebung des Kartenblattes, dass das linke Bild *a* dem rechten Kreise und dass das rechte Bild *b* dem linken Kreise angehört, insofern das betrachtete Objekt dem Auge sehr nahe (innerhalb der mittleren Sehweite) liegt. Diess erkennt man auch, wenn man das Blatt in der mittleren Stellung erhält, wo man also die beiden Bilder *a*, *b* sieht, daran, dass in dem Augenblicke, wo man das rechte Loch zuhält, das linke Bild *a* verschwindet und umgekehrt.

Ohne alle Bewegungen und Veränderungen lässt sich dieses Faktum nachweisen, wenn man das Kartenblatt nicht mit zwei, sondern mit drei Löchern durchbohrt und durch den mittleren Theil blickt, welchen alle drei Vergrösserungskreise miteinander gemein haben. Giebt man den Löchern die Stellung *A* oder *A'* (Fig. 206); so sieht man den schwarzen Punkt dreifach, aber in der Stellung *B* oder *B'*, welche in Beziehung auf das gemeinschaftliche Zentrum oder die Augenaxen das Umgekehrte von *A* oder *A'* ist.

Fig. 206.



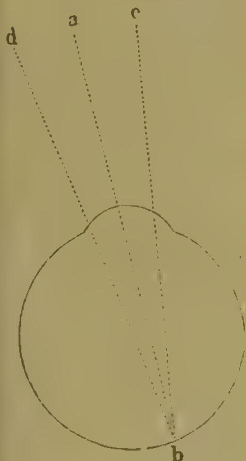






3. Erklärung der Verwechslung der Bilder. — Täuschung über den Ort des Objektes. Die Erklärung der vorstehenden Erscheinungen ergiebt sich ganz einfach aus dem in §. 22 aufgestellten Satze, dass der Lichteindruck, welcher an irgend einer Stelle *b* (Fig. 207) der Netzhaut entsteht, stets in der Richtung der Stäbchen der Bazillarschicht, also normal zur sphärischen Krümmung des Augapfels empfunden wird, gleichviel, ob die Axe des Lichtbündels, welches diesen Eindruck erzeugt, in normaler Richtung *ab* oder in einer geneigten Richtung *cb* oder *db* ankömmt.

Fig. 207.

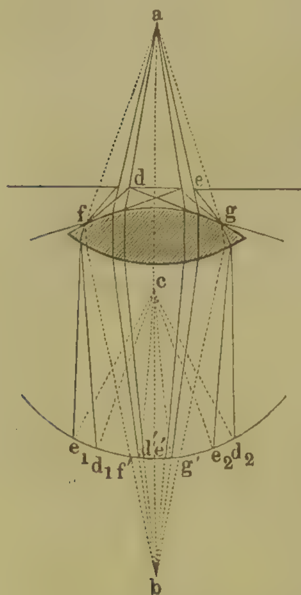


Die nachstehende Erklärung der obigen Erscheinungen (welche auch den wesentlichen Bestandtheil des mit Nadeln statt mit Punkten weniger deutlich angestellten Scheinerschen Versuches ausmachen) aus dem Satze des §. 22 bildet zugleich die experimentelle Bestätigung dieses Satzes. Im Übrigen bringen wir hier auch die Bemerkungen des §. 22 No. 2 und 3 über die Wirkung der Zerstreuungskreise in Erinnerung.

In Fig. 208 (a. f. S.) liege der leuchtende Punkt *a* dem Auge so nahe, dass der Konvergenzpunkt *b* des Strahlenkegels, dessen Basis die Pupille

fg ist, hinter die Netzhaut falle, sodass also dieser Punkt als ein Zerstreuungskreis *f′g′* erscheint. Hält man jetzt das mit zwei feinen Öffnungen *d* und *e* durchbohrte Kartenblatt vor das Auge; so gelangen von dem Punkte *a* nur zwei schmale Bündel *add′* und *aee′* des eben erwähnten zerstreuten Strahlenkegels ins Auge. Jedes dieser Bündel erzeugt ein zerstreutes Bild des Objektes *a*: wir sehen Letzteres also doppelt oder allgemein ebenso oft, als Löcher im Kartenblatte sind. Allein die Richtung, in welcher wir das Objekt durch irgend eins, z. B. durch das Loch *d* sehen, entspricht keineswegs der Richtung *d′d*, noch auch der Richtung *d′a*, sondern der Richtung der in *d′* auf der Netzhaut normal stehenden Linie *d′c*. Ist nun ein zweites Loch *e* vorhanden, durch welches ebenfalls Strahlen vom Objekte in das Auge dringen; so sehen wir das Objekt vermöge des Bildes *e′* in der Richtung *e′c*. Die beiden Richtungen *d′c* und *e′c* konvergiren und ihr Konvergenzpunkt ist der hinter der Linse liegende Kreuzungspunkt *c*. Demgemäss sehen wir das Objekt *a* vermöge des rechten Loches links und vermöge des linken Loches rechts, oder allgemein, wenn das Loch, durch welches die Strahlen fallen, nicht in der Augenaxe liegt; so weicht die Richtung, in welcher wir das Objekt sehen, von der wahren Richtung ab und die Abweichung liegt auf der entgegengesetzten Seite der Augenaxe.

Fig. 208.



Wie der Punkt *a* bei ungehindertem Eintritte des vollen Strahlenkegels das zerstreute Bild *f′g′* erzeugen würde, ebenso erzeugt das leuchtende Loch *d* das zerstreute Bild $d_1 d_2$ und das Loch *e* das zerstreute Bild $e_1 e_2$. Beide Bilder decken sich auf der Fläche $d_1 e_2$. Damit das Objekt *a* doppelt gesehen werden kann, muss das Kartenblatt so gehalten werden, dass die Strahlen *add′* und *aee′* auf die Fläche $d_1 e_2$ fallen. Verrückte man das Blatt soweit, dass das Bild von *a* auf die Fläche $e_1 d_1$ fiele oder nur durch das eine Loch *d* in das Auge gelangte; so erschiene das Objekt auch nur einfach und zwar in einer auf $e_1 d_1$ normalen Richtung.

4. Erklärung der Grösse und Form der Bilder. Was die Grösse und Form des zerstreuten Bildes $d_1 d_2$ irgend eines feinen Loches *d* betrifft; so hängt dieselbe theils von der Grösse und Form des Loches *d*, theils von der der Pupille *fg* ab. Denn jeder Punkt der Lochfläche *d* erzeugt ein zerstreutes Bild auf der Netzhaut, welches sowohl durch die Grösse, als auch durch die Form der Pupille bedingt ist. Diese Bilder reihen sich in dem Umfange einer Figur aneinander, welche von der Figur des Loches selbst, also von seiner Grösse und Form nur wenig abweicht. Ist also das Loch *d* klein im Vergleich zu der Grösse des Zerstreuungskreises, welchen jeder Punkt von *d* auf der Netzhaut bildet; so ist auch die Grösse und Form des ganzen

zerstreuten Bildes $d_1 d_2$ des Loches d von der Grösse und Form des Loches selbst fast gar nicht abhängig. Dieses Bild hat vielmehr nahezu die Form und Grösse der Zerstreuungsfläche, welche ein einziger Punkt d auf der Netzhaut erzeugt. Diese Fläche ist ein Kreis, wenn die Pupille ein Kreis ist: sonst würde sie von der Kreisform abweichen und die Form der Pupille annehmen. Sie steht auch mit der Grösse der Pupille in direktem Verhältnisse.

Demgemäss bedingt also die Pupille fast allein das Zerstreuungsbild eines feinen Loches, welche Form und Grösse dieses Loch auch habe. Je grösser das Loch wird, desto mehr tritt seine Gestalt als Grundform des Zerstreuungsbildes auf, und die Zerstreuungskreise bewirken nur Abrundungen der scharfen Ecken.

5. Erläuterndes Experiment. Als interessanten Versuch, wie die Gestalt der Pupille das Zerstreuungsbild $d_1 d_2$ bedingt, führe ich folgenden an. Man suche das Loch d in dem Kartenblatte mit einem Auge zu fixiren, indem man das Blatt dem Auge immer näher rückt. Bei grosser Nähe gelingt Diess nicht; das Auge ist stets zu weit akkommodirt, sodass der Konvergenzpunkt b des Strahlenkegels hinter der Netzhaut liegt und man von dem Loche ein helles Zerstreuungsbild erhält. Die bei dem Näherrücken des Loches erforderliche Anstrengung des Auges ruft ein Blinzeln, d. h. ein Zusammenkneifen der Augenlider hervor. In Folge dessen verdeckt zuerst das obere Augenlid den oberen Rand der Pupille, sodass der wirksame Theil der Pupille die Gestalt Fig. 209 annimmt, welche oben durch eine horizontale Linie abgeschnitten ist. Gleichzeitig erscheint nun das Zerstreuungsbild des Loches in der Form der Fig. 210, nämlich unten abgeschnitten. Diess ist eine direkte Folge unseres obigen Satzes. Denn kupirt man die Pupille bei f (Fig. 208); so kupirt sich dadurch das Netzhautbild allerdings auf derselben Seite bei d_1: allein da die Normale $d_1 c$ nach der entgegengesetzten Seite gerichtet ist: so muss uns auch das zerstreute Loch auf der entgegengesetzten Seite kupirt erscheinen.

Bei fortgesetzter Annäherung des Blattes deckt endlich auch das untere Augenlid den Rand der Pupille. Alsdann hat die Pupille die Form Fig. 211 und das Zerstreuungsbild die Form Fig. 212.

Auf der Sehne, durch welche das Loch vermöge des vortretenden Randes des einen oder anderen Augenlides abgeschnitten wird, kann man auch nach Fig. 213 die Haare der Augenwimpern als dunkele Schatten

Fig. 209.


Fig. 210.

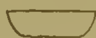

Fig. 211.


Fig. 212.


Fig. 213.


stehen sehen. Bei hinreichender Verengung der Augenlidspalte treten diese dunkelen Schatten durch die ganze Breite der hellen Öffnung.

Dass das obere Augenlid den unteren dunkelen Abschnitt des hellen Loches bewirkt, kann man handgreiflich erkennen, wenn man diesem Augenlide von oben her die Spitze einer Bleifeder nähert. Sowie die

Spitze zwischen die Wimperhaare tritt, erscheint ihr Schatten auf dem unteren Abschnitte zwischen den Schatten der Haare.

6. **Eigenthümliche Vergrösserung, welche die Zerstreuungskreise bewirken.** Die Vergrösserung, welche durch die Zerstreuungskreise entsteht, ist keine verhältnissmässige Vergrösserung aller Dimensionen des Objektes; sie stellt vielmehr eine parallele Erweiterung des Umfanges um den Halbmesser eines Zerstreuungskreises dar. In Wahrheit ist diese Veränderung gar keine eigentliche Vergrösserung, sondern nur eine Verflüchtigung der scharfen Grenzen. Aus diesem Grunde ist ihr Effekt in Beziehung auf absolute Grösse des Objektes bei ganz kleinen Objekten sehr bedeutend, aber von der Form und Grösse dieser Objekte völlig unabhängig, bei grossen Objekten dagegen unbedeutend und durch die Form und Grösse der Objekte allein bedingt.

7. **Vertauschung des feinen Loches mit einem kleinen dunkelen Objekte.** Das soeben von der Vergrösserung eines lichtdurchlassenden Loches Gesagte gilt in gleichem Maasse von einem feinen schwarzen Punkte oder sonstigen kleinen Objekte, welches man nahe vor das Auge bringt. Alle diese Objekte erscheinen, welches auch ihre Form und Grösse sei, nahezu als Kreisflächen von einem bestimmten Durchmesser. Bei grösseren Objekten entsteht die Verschwimmung der Umrisse.

8. **Ursache der Zerstreuungskreise.** Wesentlich ist übrigens die Bemerkung, dass die ganze eben besprochene Wirkung der Zerstreuungskreise auf dem Zustande unvollkommener Akkommodation beruht oder eine Folge davon ist. Denn wäre das Auge auf das Loch *d* genau akkommodirt; so bildete sich überhaupt kein Zerstreuungskreis, sondern ein scharfes Netzhautbild. Dieses Bild würde von der Grösse und Form der Pupille ganz unabhängig sein.

Wenn bei unvollkommener Akkommodation ein zerstreutes Bild $d_1 d_2$ des Loches *d* entsteht; so wird dessen Grösse sich ändern, wenn die Pupille sich ändert. Eine solche Änderung der Pupille wird leicht eintreten; denn die Anstrengung des Auges behuf Erzwingung einer Akkommodation auf eine sehr kleine Sehweite ist bedeutend, erzeugt Schwankungen und damit induktorisch Erweiterungen und Verengungen der Pupille, also auch Vergrösserungen und Verkleinerungen des Zerstreuungsbildes.

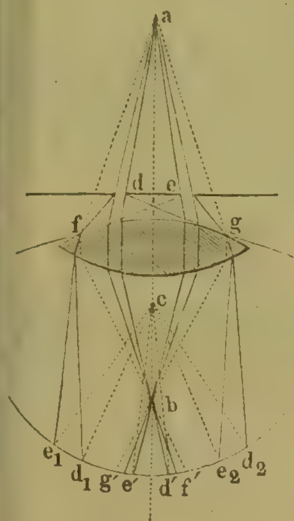
Endlich muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass das Zerstreuungsbild in gewissem Grade auch von dem Akkommodationsgrade, in welchem das Auge sich befindet, abhängt, also Schwankungen erleiden kann, welche von Veränderungen der Pupille nicht begleitet sind.

9. **Blick durch mehrere feine Löcher auf ein entferntes Objekt.** Bei allen vorhergehenden Sätzen dieses Paragraphen ist vorausgesetzt, dass das Objekt *a* sich so nahe vor dem Auge befinde, dass das Auge zu weit auf dasselbe akkommodirt sei (trotzdem dass das Kartenblatt eine

möglichste Verkürzung der Akkommodationsweite bewirkt, vergl. §. 24 No. 3).

Entfernt man jetzt das Objekt *a* vom Auge; so rücken bei dem Sehen durch zwei feine Öffnungen die beiden Bilder von *a* immer näher zusammen und fallen endlich (indem richtige Akkommodation eintritt) aufeinander. Bei noch weiterer Entfernung, wo das Auge auf *a* zu nahe akkommodirt ist, gehen die Bilder wieder auseinander, jedoch in entgegengesetzter Richtung, sodass das Bild des rechten Loches rechts und das Bild des linken Loches links gesehen wird.

Fig. 214.



Diesen Fall, wo sich ebenfalls Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut erzeugen, wo aber der Konvergenzpunkt *b* vor die Netzhaut fällt, stellt Fig. 214 dar. Die Verhältnisse erläutern sich nach dem Obigen sehr leicht. Wir bemerken nur, dass das durch das linke Loch *d* entstehende Bild *d′* in der normalen Richtung *d′c*, also nach links hin, das durch das rechte Loch *e* entstehende Bild *e′* dagegen in der Richtung *e′c*, also nach rechts hin gesehen wird.

10. Scheinbare Bewegung der durch ein feines Loch betrachteten Objekte. Wir haben im Vorstehenden unter No. 3 gesehen, dass beim Blicke durch ein feines Loch jedes Objekt an einem falschen Orte zu stehen scheint. Es ist Diess eine Folge der unvollkommenen Akkommodation und tritt in allen anderen Fällen ebenfalls ein, wo die Netzhaut sich nicht richtig akkommodirt.

Wenn wir das mit einem feinen Loche durchbohrte Blatt vor dem Auge verrücken; sodass also das Loch *d* nach *e* rückt (Fig. 208 u. 214); so wirft der Punkt *a* des Objektes sein Bild nicht mehr nach *d′*, sondern nach *e′*, Während der Punkt *a* also vorher in der Richtung *d′c* erschien, erscheint er jetzt in der Richtung *e′c*; dieser Punkt scheint sich also zu verrücken.

Hieraus leuchtet ein, dass wenn man das durchlochte Blatt vor dem Auge bewegt, alle Objekte sich mitzubewegen scheinen.

Ist das Auge zu weit akkommodirt; so bewegt sich das Objekt nach entgegengesetzter Seite des Blattes: ist das Blatt zu nahe akkommodirt; so bewegt sich das Objekt in derselben Richtung wie das Blatt. Hieraus folgt, dass beim Blicke durch ein feines Loch, indem man das Blatt bewegt, alle sehr nahen Objekte in entgegengesetzter, alle sehr entfernten Objekte dagegen in derselben Richtung sich zu bewegen scheinen.

11. Wirkliche Bewegung der Objekte. Wir machen ausdrücklich darauf aufmerksam, dass die vorstehende scheinbare Bewegung der Objekte nur eine Wirkung der Bewegung des durchlochten Blattes ist. Bewegt sich dagegen das Objekt, während das Blatt ruht; so erscheint

diese wirkliche Bewegung stets so wie sie ist, gleichviel ob das Auge nach Fig. 208 zu weit oder nach Fig. 214 zu nahe akkommodirt ist.

12. Vergrössernde und verkleinernde Wirkung eines feinen Loches. Dass ein sehr nahe vor das feine Loch gehaltenes Objekt nach Fig. 208 vergrössert erscheint, weil das Auge trotz des dazwischen tretenden Blattes und leuchtenden Loches auf jenes Objekt noch zu weit akkommodirt ist, wogegen ein entferntes Objekt nach Fig. 214 verkleinert erscheint, weil das Auge wegen des dazwischen tretenden Blattes auf jenes Objekt sich zu nahe akkommodirt, werden wir in §. 38 näher in Erwägung ziehen.

Ich bemerke noch, dass man durch das Loch d jedes Objekt ganz übersehen kann, welches zwischen den verlängerten Seitenlinien fd, gd des Kegels dfg liegt, dessen Seite das Loch d und dessen Basis die Pupille fg ist, dass man also durch ein sehr feines Loch doch sehr grosse Objekte betrachten kann.

13. Schärfe und Lichtstärke des Bildes. Das Bild, welches man durch die Betrachtung eines Objektes mittelst eines feinen Loches empfängt, zeichnet sich immer, auch für sehr nahe Objekte, durch eine ausserordentliche Schärfe aus, welche das freie Auge bei derselben Entfernung des Objektes trotz aller Anstrengung nicht zu erzeugen vermag. Der Grund hiervon liegt lediglich in der Beschränkung der Zerstreuungskreise, welche das feine Loch bewirkt. Denn während im freien Auge der Punkt a auf der Netzhaut den Zerstreuungskreis $f'g'$, oder wenn sich durch Beseitigung des Blattes auch die Akkommodation auf jenen Punkt etwas verbesserte, nahezu einen solchen Zerstreuungskreis bildet, welcher einem Strahlenkegel entspricht, dessen Basis die ganze Pupille fg ist, entsteht beim Blicke durch das Loch d nur ein Zerstreuungskreis von dem kleinen Durchmesser der Fläche d', welcher einem Strahlenkegel entspricht, dessen Basis das feine Loch d ist.

14. Scheinbare Gestalt eines entfernten Objektes beim Anblicke durch ein feines Loch. Das kleine Objekt nimmt die Form der feinen Sehöffnung in umgekehrter Lage nur dann an, wenn dasselbe dem Auge so nahe liegt, dass das Auge zu weit darauf akkommodirt ist, folglich die Strahlen hinter der Netzhaut konvergiren.

Ist dagegen das Objekt vom Auge so weit entfernt, dass das Auge zu nahe darauf akkommodirt ist oder die Strahlen vor der Netzhaut konvergiren; so kehrt sich die Gestalt um: das Objekt erscheint alsdann in der aufrechten Form des feinen Sehloches.

In diesem Falle, wo das Objekt, welches nach der Voraussetzung sehr klein sein muss, sich vom Auge hinreichend weit entfernt, wo also nur nahezu parallele Strahlen durch die als sehr fein vorausgesetzte Öffnung gehen, macht sich übrigens die Wirkung der Beugung an den Rändern der Öffnung in überwiegendem Maasse geltend. Die Beugung erfolgt bekanntlich in normaler Richtung auf der Richtung der schlitzförmigen Ränder.

Demzufolge erscheint jeder hinreichend entfernte Punkt *a* (Fig. 215) durch einen feinen horizontalen Schlitz *b* als vertikale Linie *c*.

Fig. 215.



Statt der einfachen Linie *c* sieht man häufig mehrere parallele *d*. Diess sind die vervielfältigten Zerstreuungsbilder von *c*, welche wir in §. 55 näher kennen lernen werden.

Eine runde Sehöffnung kann offenbar nur ein rundes Bild von einem Punkte er-eugen (abgesehen von der Formveränderung durch Zerstreuung, welche ir weiter unten besonders untersuchen werden). In Folge der Beugung an en Rändern einer solchen Öffnung wird ein entfernter Punkt immer zu ross erscheinen (eine Erscheinung, welche durch die Zerstreuung noch rhöht wird).

Mit der Beugung ist stets Interferenz verbunden. Die am lande der Öffnung gebeugten Strahlen werden also auch Maximen und linimen der Lichtstärke, d. h. Licht- und Schattenlinien bilden, elche der Figur der Öffnung nahezu parallel sind. Insbesondere wird ein heller Punkt durch eine runde Öffnung nach Fig. 216 als helle Scheibe *a* erscheinen, welche von einem Schattenringe umgeben ist, hierauf wird abwechselnd ein Lichtring und ein Schattenring von immer mehr bnehmender Intensität folgen. Diese Erscheinung bietet auch die Sonne ar, wenn sie durch eine feine Öffnung betrachtet wird.

Fig. 216.



Ebenso erscheint eine helle Linie durch ein rundes Loch nach 'ig. 216 als ein heller Streifen *b*, welcher abwechselnd mit Schatten- und ichtringen umgeben ist.

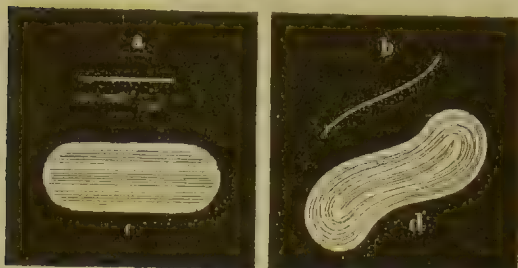
15. Die Erscheinung der feinen Sehöffnung selbst. Die nahe or das Auge gehaltene feine Sehöffnung hat wie schon unter No. 4 er-wähnt ist, wenn sie nach allen Richtungen nur einen kleinen Durchmesser hat, ie Form eines Kreises, welcher durch die Kreisform der Pupille bedingt st. Es ist hierbei gleichgültig, ob die feine Öffnung selbst einen Kreis, in Dreieck, ein Viereck, ein Kreuz, einen kleinen Strich oder eine andere 'igur darstellt.

Dehnt sich an der feinen Öffnung nur eine Dimension bedeutend aus, immt dieselbe also einen grad- oder krummlinien schlitzförmigen Li-ienzug an; so erscheint die Gestalt der Öffnung nahezu in ihrer virklichen Form. Die Breitendimension verwandelt sich nämlich in ie Breite des Kreises, in dessen Grösse eine kleine Punktöffnung er-cheinen würde. Überhaupt erhält man die scheinbare Form *c*, *d* Fig. 217 a. f. S.), wenn man um alle Punkte der wirklichen Form *a*, *b* er Öffnung solche Kreise beschreibt.

Ist die Öffnung rund oder doch rundlich; so erscheint ihr Feld ls eine Fläche von ungleichförmiger Helligkeit. Auf dem hellen rrunde scheinen Schatten zu liegen, welche keine bestimmte Form und lichtung haben, also das Aussehen unregelmässiger Flecke haben. Diese

Flecke entspringen offenbar aus der Ungleichförmigkeit, welche die brechenden Medien des Auges vermöge ihrer nicht ganz normalen organischen Bildung in Beziehung auf Durchsichtigkeit und Brechbarkeit darbieten.

Fig. 217.



Ist an der feinen Öffnung eine Dimension ausgebildet, wie in Fig. 217; so erscheint das Feld der Öffnung nicht mehr regellos gefleckt, sondern streifig, in paralleler Richtung zu dem Hauptzuge der Figur. Auch diese Erscheinung erläutert sich leicht, da jetzt jeder Punkt der Linie *a* einen Kreis mit identischen Flecken erzeugt. Indem diese Kreise sich aneinanderreihen, legen sich auch die Flecken aneinander und bilden parallele Schattenlinien.

16. Unterscheidung der Strahlen des Objektes von den Strahlen der Öffnung. Die Strahlen, welche ein durch eine feine Öffnung betrachtetes Objekt durch diese Öffnung in das Auge sendet, sind sorgfältig von denen zu unterscheiden, welche von dieser Öffnung selbst ausgehen. Jene erzeugen das Bild des Objektes, diese dagegen das Bild der kleinen Öffnung, welches wegen der Nähe der Öffnung ein Zerstreuungsbild ist, weil die von der nahen Öffnung kommenden Strahlen nicht auf, sondern hinter der Netzhaut konvergiren oder wohl gar divergiren. Da das Bündel dieser Strahlen durch den Rand der Pupille begrenzt ist; so erscheint das Bild der Öffnung zugleich als das Abbild der Pupille, nämlich als helle Kreisfläche.

Die kleine Sehöffnung wirkt hier gerade so wie ein leuchtender Punkt, welcher, wenn er dicht vor das Auge gehalten wird, ebenfalls als heller Zerstreuungskreis, dessen Grösse durch die Pupille mit bedingt ist, erscheint.

Der Vorgang, welcher eine kleine Öffnung befähigt, Strahlen nach allen Richtungen auszusenden, oder wie ein Lichtpunkt zu leuchten, bedarf einer Erläuterung. Wir wissen allerdings, dass das Licht beim Durchgange durch eine kleine Öffnung gebeugt wird, dass also von dieser Öffnung Lichtstrahlen fast nach allen Richtungen ausgehen: allein diese Strahlen werden umso schwächer, je stärker sie sich gegen die Axe der Öffnung neigen und werden auch bald sehr schwach, sodass die Beugung unmöglich die erhebliche Leuchtkraft einer solchen Öffnung in sehr stark geneigten Richtungen erklären kann.

Von grösserer Wirkung als die gebeugten Strahlen sind gewöhnlich die an dem rundlichen Rande der Öffnung reflektirten Strahlen (Fig. 218); von noch grösserer Wirkung aber die Diffusionsstrahlen, welche von diesen Rändern ausgehen, indem die Ränder durch die Bestrahlung wirklich leuchtend werden und der physiologische Effekt dieser Leuchtkraft durch den Kontrast des ringsum verdunkelten Grundes erhöht wird.

ı stärksten aber wirken solche Strahlen $a\,a'\,b\,b'$, welche aus dem hellen Raume der Öffnung in schrägen Richtungen direkt durch diese Öffnung dringen.

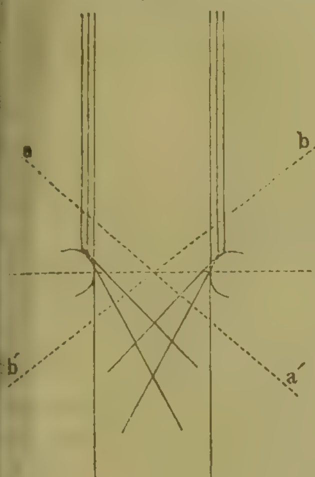
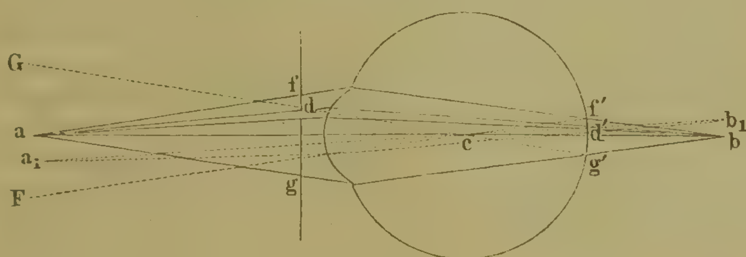


Fig. 218.

Namentlich vermöge der letzteren Strahlen kann eine Öffnung in recht feinem Papier, welches zugleich möglichst undurchsichtig ist, selbst in sehr flachen Richtungen noch eine erhebliche Leuchtkraft ausüben.

17. Scheinbare Richtung der Hauptstrahlen und Entfernung der Zerstreuungskreise beim Blicke durch eine feine Öffnung. Wir haben gesehen, dass wenn b der Konvergenzpunkt des von dem Punkte a ausgehenden Strahlenbündels ist (Fig. 219), das Netzhautbild von a also ein Zerstreuungskreis $f'g'$ ist; so erscheint der Punkt a als ein undeutlicher, durch-

Fig. 219.



ıeinender Kreis vom Durchmesser FG. Jeder Punkt d' des Netzhautdes $f'g'$ entspricht nämlich der Erscheinung eines Punktes a_1, welen man erhält, indem man von d' eine Normale auf der Netzhaut erhtet. Diese Normale entspricht auch sehr nahe der von durch den Kreuzungspunkt c des Auges gezogenen Linie $c\,a_1$. Die Lage dieses Kreuzungspunktes, durch welche alle Hauptrahlen ab, d. h. die Axen aller vollen Lichtbündel gehen, ist her auch für die Zerstreuungserscheinungen wichtig.

Was die Entfernung $a_1\,c$ betrifft, in welcher uns der Punkt a_1 scheint; so entspricht dieselbe ganz und gar der Konvergenz des Strahıkegels $f'bg'$, also der Entfernung des Punktes a, modifizirt durch den nfluss, welchen die unvollkommene Akkommodation ausübt. Denkt man h von a_1 ein Lichtbündel ausgehend, dessen Hauptstrahl $a_1\,c\,d'$ ist; so ırd dasselbe in einem Punkte b_1 konvergiren, welcher etwa ebenso weit n der Netzhaut entfernt liegt, wie der Punkt b. Der Abstand $d'b_1$ beichnet also den Grad des unrichtigen Akkommodationszustandes für den ınkt d'. Die scheinbare Entfernung $a_1\,c$ des Punktes a_1 wird ernach ungefähr dieselbe sein wie die des Punktes a, d. h. die ganze rstreuungsfigur FG wird nahezu eine auf der Sehaxe $a\,c$ normal stende Scheibe darstellen.

18. Blick durch feine Öffnungen von verschiedener Gest auf ganz nahe Objekte. Wenn man mittelst eines durchlöcherten Bl tes fg den vollen Lichtkegel afg theilweise absperrt; so erzeugt, wie ebenfalls gesehen haben, jedes feine Loch d ein besonderes Bild a_1 v dem Punkte a. Dieses Bild liegt in Beziehung zu der Sehaxe ac d Loche d direkt entgegengesetzt.

Vereinigt man nun mehrere solche feinen Löcher zu einem zusa menhängenden feinen Linienzuge; so ist klar, dass ein sehr nah Punkt a (auf welchen sich das Auge nicht genau akkommodiren ka welcher also einen hinter der Netzhaut liegenden Konvergenzpunkt b zeugt) nicht mehr als ein einfacher Punkt a_1, sondern als ein Linienz von der Form der Sehöffnung erscheinen wird, welche gegen die Seha ac die verkehrte Lage hat. Ein Sehloch von der Form a (Fig. 22 wird also den äusseren Punkt der Gestalt A erscheinen lassen.

Fig. 220.



Das Experiment bestätigt dies Schluss vollkommen. Da eine fei Öffnung nur ein lichtschwaches Bi geben kann; so thut man wohl z dem Objektpunkte einen Glanz oder Lichtpunkt, z. B. ein fein Loch in einem zweiten Blatte, welches man gegen den hellen Himmel hä und dem Auge hinreichend nähert, oder den Glanzpunkt eines von de Sonne beschienenen Nadelknopfes zu nehmen. Will man als Objekt eine dunkelen Punkt anwenden; so muss man etwa einen dunkelen Punkt au einer durchsichtigen Glasscheibe oder den frei schwebenden Knopf eine Nadel nehmen. In allen Fällen muss jedoch das Objekt ein möglichs kleiner Punkt sein, da von einem grösseren Objekte jeder einzeln Punkt die vorstehende Figur in einer anderen Lage annimmt, wa dazu führt, dass jedes grössere und sehr nahe Objekt durch jede be liebige Öffnung als ein verschwimmendes rundliches Ganze erscheint.

Schliesslich geht aus dem Obigen hervor, dass wenn das feine Loch eine Fläche von beliebiger Gestalt ist, ein sehr naher Punkt ebenfalls in derselben, jedoch umgekehrt liegenden Form dieses Loches erscheint.

19. Bestätigung mehrerer Grundanschauungen der physiologischen Optik durch die feinen Öffnungen. Wir wollen jetzt mit Hülfe der feinen Öffnungen verschiedene Grundanschauungen unserer Theorie experimentell zu bestätigen suchen. Dass die im vorhergehenden Paragraphen unter No. 2 bezeichnete Anstrengung des Auges wirklich den Effekt der stärkeren Wölbung der Linse hat, lässt sich durch folgende Versuche darthun.

Betrachtet man ein entferntes kleines Objekt, z. B. eine entfernte Lichtflamme durch das feine Loch eines Nadelstiches; so ist man nicht im Stande, den Effekt der erwähnten Veränderung des Auges, welcher sich durch scheinbare Vergrösserung des Objektes ohne wesentliche Veränderung der scheinbaren Entfernung kund giebt, hervorzubringen. Die Veränderung des Auges selbst findet allerdings statt, wie uns das Gefühl lehrt und wie wir gleich bestimmter nachweisen werden; da aber

möge des feinen Loches die ganze Randpartie der Linse verdeckt so kann die vergrössernde Wirkung nicht oder doch nur in sehr gegem Maasse eintreten, weil die Veränderung der kleinen Partie der ise, welche für die Strahlen des feinen Loches zugänglich bleibt, weder e erhebliche Aberration, noch eine erhebliche Zerstreuung hervorbrinkann.

Sticht man jetzt in das Kartenblatt drei feine Löcher so nahe beinder, dass die beiden äussersten Löcher, wenn das Blatt nahe vor das ge gehalten wird, noch im Bereiche der Pupille liegen, und betrachtet entfernte Flamme, welche wir als ein Objekt von kleinem Sehwinkel aussetzen, durch diese drei Löcher, indem man das mittelste Loch in Sehaxe bringt; so erblickt man drei Flammen. Die rechts erscheide Flamme gehört (wie schon unter No. 9 bemerkt und durch Verkung des einen und des anderen Loches leicht zu konstatiren ist) dem hten, die links erscheinende dem linken Loche an.

Die letztere Erscheinung ist insofern wichtig, weil sie die experintelle Bestätigung des Satzes liefert, dass das Auge auf sehr entfernte ekte zu nahe akkommodirt ist, dass also das optische Bild, welches volle Strahlenkegel eines Objektpunktes bei voller Pupillenweite bil-, vor der Netzhaut liegt, sodass die Rand- und Zentralstrahlen sich der Netzhaut kreuzen und demzufolge das Bild vom rechten Loche ks neben den Pol der Netzhaut oder links neben das Bild vom Mittelloche fällt, und demzufolge rechts vom Mittelloche erscheint.

Macht man nunmehr die oben erwähnte Anstrengung; so rücken beiden Seitenbilder auseinander, ohne dass sich ihre scheinbare sse und Entfernung ändert, sie beweisen also, dass sich die Linse rker wölbt. Man kann den Versuch auch mit zwei Löchern statt dreien machen.

Bei Tage kann man als Objekt statt einer entfernten Flamme eine ziemlicher Entfernung gegen den hellen Himmel gehaltenen Nadel ilen.

Wenn man dieses Objekt beim Blicke durch mehrere Öffnungen dem ge sehr nahe bringt; so vertauschen die dem rechten und linken he angehörigen Bilder ihre Stellen miteinander, lehren also, dass jetzt Auge zu weit akkommodirt oder dass der Durchkreuzungspunkt der ahlen des Strahlenkegels jetzt hinter der Netzhaut liegt oder die genaxe zu kurz ist.

Macht man jetzt die erwähnte Anstrengung; so rücken die Seiten-er nicht auseinander, sondern zusammen, wie es einer Verstärkung Wölbung der Linse in einem zu weit akkommodirten Auge (oder einem Auge mit zu kurzer Axe) auch vollkommen entspricht.

Hiernach ist klar, dass die in Rede stehende Anstrengung eine Verrkung der Wölbung der Linse, womit selbstverständlich auch rdichtung verbunden sein muss, hervorbringt und dass hieraus bei entfernteren Objekten scheinbare Vergrösserung, bei den ganz en dagegen scheinbare Verkleinerung entspringt.

Mit Hülfe der feinen Löcher kann man auch die Wirkung der vererten Akkommodation kontroliren. Blickt man durch zwei oder i feine Löcher auf ein entferntes kleines Objekt und akkommodirt nun

das Auge näher; so entfernen sich die beiden Seitenbilder voneinander, wie bei der vorhin besprochenen stärkeren Wölbung der Linse: denn in der That ist ja mit dieser Akkommodationsveränderung stärkere Wölbung der Linse und zugleich Verlängerung der Augenaxe verbunden. Ausserdem gewahrt man aber jetzt deutlich eine Verkleinerung und Annäherung der Bilder an das Auge. Da hierbei keine Aberration oder Zerstreuung mehr eine Rolle spielt; so ist dieser Versuch in mehrfacher Hinsicht wichtig. Einmal beweis't er die Verlängerung der Augenaxe und stärkere Wölbung der Linse bei der Akkommodation des Auges auf kleinere Sehweite; ausserdem aber konstatirt derselbe durch das Auseinanderrücken der Bilder die in §. 24 No. 19 besprochene scheinbare Vergrösserung, welche in dem zu nahe akkommodirten Auge aus der grösseren Aberration und Zerstreuung entspringt; endlich bestätigt er durch die Verkleinerung der Bilder und durch deren Annäherung an das Auge die in §. 16 No. 9 und in §. 24 No. 5 erwähnte Verkleinerung der Grösse und Entfernung, welche mit der Akkommodationsanstrengung verbunden ist.

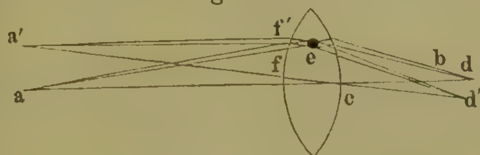
Bei der Akkommodation des freien Auges auf eine kleinere Sehweite machen sich also in Beziehung auf scheinbare Grösse zwei entgegengesetzte Wirkungen geltend: Vergrösserung in Folge der vermehrten Aberration und Zerstreuung, Verkleinerung in Folge der stärkeren Akkommodationsanstrengung. Diese beiden Wirkungen kann man deutlich beobachten. Wölbt man nämlich erst durch die in §. 30 No. 2 bezeichnete Anstrengung die Linse stärker, ohne die Augenaxe zu verlängern; so schwillt das Objekt in Folge der grösser werdenden Aberration und Zerstreuung erheblich an und erhält verschwimmende Umrisse. Giebt man alsdann der mit jener Anstrengung verbundenen Neigung zur näheren Akkommodation des Auges nach; so bleiben zwar die verschwimmenden Umrisse bestehen, allein das Objekt schrumpft in seiner Totalität vermöge der stärkeren Akkommodationsanstrengung immer mehr ein, indem dasselbe zugleich beim Gebrauche beider Augen in zwei Bilder sich trennt.

Bei dieser Akkommodation auf kleinere Sehweite hat man es in seiner Gewalt, die abnorme Verstärkung der Linse mehr oder weniger vorwalten zu lassen, d. h. man kann in jedem Stadium der Akkommodation die Linse stärker und schwächer wölben, also dem Objekte mehr und weniger weit übergreifende Zerstreuungsumrisse geben. Bemerkenswerth hierbei ist aber, dass wenn man angesichts eines Objektes das Auge nicht durch freiwillige Anstrengung, sondern durch Fixirung eines wirklichen näheren Objektes mit möglichster Vollkommenheit näher akkommodirt, das erstere Objekt viel schärfer erscheint.

Aus letzterer Beobachtung geht evident hervor, dass bei der freiwilligen Verstärkung der Wölbung der Linse und auch bei der freiwilligen Akkommodation auf eine kürzere Sehweite ohne ein in dieser Entfernung wirklich vorhandenes, bestimmt begrenztes Objekt die Wölbung der Linse immer an den Rändern relativ zu stark oder zu ellipsoidisch ist und dass die mehr paraboloidische Krümmung, welche die Aberration aufhebt, den allseitigen Lichtreiz der Strahlenkegel voraussetzt, wie ihn nur ein in der Akkommodationsweite gegebenes wirkliches Objekt erzeugen kann.

20. Zerlegung der Strahlenkegel und der Sehthätigkeit in ihre Elemente. Betrachten wir den vollen Strahlenkegel, welchen ein leuchtender Punkt a aussendet (Fig. 221); so durchdringen die einfachen Strahlen dieses Kegels das Auge in ebenso viel besonderen Linien. Bei

Fig. 221.



vollkommener Akkommodation, wo alle diese Linien in demselben Punkte d der Netzhaut zusammenlaufen, trifft jede Linie andere Elemente der brechenden Medien: auf der Netzhaut aber vereinigt sich ihr Lichteffekt in einem einzigen Punkte. Der Hauptstrahl acd vertritt die Richtung der mittleren Affektion, welche das Auge durch jenen Strahlenkegel erleidet.

Irgend einem kleinen Massenelemente e der Linse entspricht ein elementares Strahlenbündel aeb. Der Konvergenzpunkt b dieses Bündels im Auge ist das optische Bild des Objektes a, welches von jenem Elemente des Strahlenbündels und der zugehörigen Augenmasse gebildet wird, welches also das Elementarbild des Objektes genannt werden kann. Die Akkommodation des Auges besteht nun darin, die Thätigkeiten der einzelnen Elemente eb des Sehorganes so zu reguliren, dass alle Elementarbilder b in demselben Punkte d der Netzhaut zusammenfallen. Diess geschieht dadurch, dass der Nervenpunkt d der Netzhaut, welcher bei ungenauer Akkommodation der Mittelpunkt der Zerstreuungskreise ist, jene Regulirung herbeiführt.

Der Blick durch feine Löcher, welche nur solche Elemente wie eb in Thätigkeit lassen und daher wahre Sonden für das Auge sind, lehrt, dass die Gesammtthätigkeit des Sehens eine Summe unendlich vieler elementaren Thätigkeiten ist, welche die nebeneinander liegenden Theile des Auges oder vielmehr der brechenden Medien selbstständig affiziren. Wir sehen gleichzeitig vermittelst jedes konischen Elementes der Linse und des Glaskörpers denselben Objektpunkt. Von diesen Elementen können beliebig viele ganz ausser Thätigkeit gesetzt werden, ohne das Sehen unmöglich zu machen.

Da aber alle diese Elementarthätigkeiten von einem einzigen Nervenpunkte d der Netzhaut aus regulirt werden; so bilden sie ein systematisches Ganze und da sie sich symmetrisch um eine mittlere Affektionsrichtung acd gruppiren, auch lauter verschiedene Elemente der brechenden Medien in verschiedenen Richtungen in Anspruch nehmen; so kann die mittlere Richtung oder der Hauptstrahl acd in mancher Hinsicht als der Repräsentant dieser Affektion angesehen werden.

Betrachten wir jetzt die Veränderungen, welche irgend ein Massenelement c der Linse oder des Glaskörpers erleidet, wenn das leuchtende Objekt a seinen Ort nach a' verlegt. Wäre die Dichtigkeit der brechenden Medien unter allen Umständen konstant; so würde die Richtung, in welcher das Element c vom Lichtstrahle $a'f'd'$ affizirt wird, die Richtung

$f'a'$, in welcher das Objekt vom Punkte f' aus liegt, oder was nahezu Dasselbe ist, die Richtung des Hauptstrahles $a'cd'$ gegen die Augenaxe acd bestimmen. Jeder in einer anderen Richtung liegende Punkt, also überhaupt jeder Punkt des uns sichtbaren Theiles des vor uns liegenden Raumes würde mithin jedes Massenelement der Linse und des Glaskörpers in einer besonderen Richtung affiziren.

Nun ist aber die Dichtigkeit ebenfalls ein veränderliches Element der Linse und des Glaskörpers. Änderte sich dieselbe wie in einem homogenen Körper stets so, dass sie in einunddemselben Elemente nach allen Richtungen hin denselben Werth behielte; so würde sie mit der durchschnittlichen Sehweite und dem mittleren Akkommodationszustande harmoniren. Ich nehme aber an, dass jedes Massenelement als organisches Element, und somit der Gesammtkörper der Linse und des Glaskörpers fähig sei, in verschiedenen Richtungen verschiedene Dichtigkeiten anzunehmen, dass Diess wenigstens bis zu einem gewissen Grade möglich sei. Alsdann entspricht der Entfernung $f'a'$ des Punktes a' auch eine bestimmte Dichtigkeit des Elementes e in einer bestimmten Richtung $f'e$.

Hiernach ist die Affektion jedes Massenelementes der Linse und des Glaskörpers, und auch die Gesammtaffektion der Linse und des Glaskörpers, wenn man dabei gleichzeitig Richtung und Dichtigkeit berücksichtigt, für jeden leuchtenden Punkt des Raumes eine besondere. Der Nerv d ist es, welcher diese besondere Veränderung der brechenden Medien, nebst den übrigen planmässigen Veränderungen des Auges bei der Akkommodation herbeiführt, welcher also die vielfachen Elemente zu einer einheitlichen Zusammenwirkung zwingt und uns das Gefühl von dieser Thätigkeit und von deren subjektiven Effekten, sowie das Urtheil über die objektiven Lichtreize, welche diese Thätigkeit veranlassen, giebt. Die Wirkung der Nervenfaser d ist selbst eine unendlich vielfache; sie wirkt auf jedes konische Element de für sich und nöthigt dasselbe, sich so zu akkommodiren, dass das von ihm entworfene optische Bild b in denselben Punkt d der Netzhaut fällt.

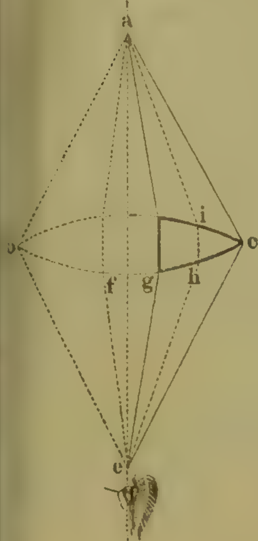
Diese unendliche Vielfachheit der Wirkung des Nervenpunktes d kann durchaus nichts Überraschendes haben; sie entspricht ganz und gar der unendlichen Vielfachheit der Wirkung, welche jedes Massenelement, das mit einem Körper in irgendeiner gesetzlichen Beziehung steht, auf alle Elemente dieses Körpers ausübt, z. B. der Gravitation eines Punktes auf alle materiellen Punkte um ihn herum.

Es bedarf wohl kaum der Erinnerung, dass die in den letzten Nummern besprochenen direkten Strahlen, welche das Objekt durch die kleinen Sehöffnungen sendet, nicht mit den Strahlen zu verwechseln sind, welche die Öffnungen selbst aussenden und vermöge deren jede Öffnung als grosser Pupillenkreis erscheint.

21. Blick an einer scharfen Kante vorbei. Indem wir einen Punkt fixiren, drehen wir das Auge so, dass die Axe des Strahlenkegels in die Augenaxe fällt, oder strenger genommen so, dass der wirksamste

strahl dieses Strahlenkegels in die Augenaxe fällt. Ist der Strahlenkegel von normaler, symmetrischer Gestalt; so liegt der wirksamste Strahl in seiner Axe: ist jener Kegel jedoch exzentrisch wie der Kegel *ceg* (Fig. 222), so ist der wirksamste Strahl *eg* derjenige, welcher der Axe des normalen Kegels am nächsten liegt.

Fig. 222.



Ist also *bg* ein undurchsichtiger Körper, welcher die linke Seite des in die Pupille *bc* fallenden normalen Strahlenkegels *abc* abschneidet, sodass der Blick des Auges *e* auf den Punkt *a* die Kante *g* streift; so erblicken wir diesen Punkt in der Richtung der Linie *eg*.

Hieraus folgt, dass wenn wir die Kante eines Kartenblattes dicht vor dem Auge vorbei führen, alle Objekte, welche neben dieser Kante vorbei gesehen werden, eine kleine scheinbare Bewegung in der Richtung des Blattes machen, ehe sie verschwinden.

§. 32.

Das Induktionsgesetz.

1. Akkommodation und Induktion. Um die objektiv verschie-
rnen Eigenschaften, womit die Dinge der Aussenwelt auf uns wirken, zu
nem einheitlichen Gesammteindrucke zu verschmelzen, um also ver-
hiedene Thätigkeit in demselben Interesse oder zu dem
imlichen Plane zu vollführen, muss unter den Organen, welche die
irkung der äusseren Objekte direkt empfangen und hierdurch in eine
wisse Thätigkeit versetzt werden, eine gewisse Gemeinschaftlich-
eit oder Zusammengehörigkeit stattfinden, welche aber doch nicht
ndert, dass diese Organe und ihre Thätigkeiten in gewisser Hinsicht und
s zu einem gewissen Grade unabhängig oder selbstständig sind,
n die Eigenthümlichkeit der verschiedenen Eigenschaften der Aus-
ndinge zur Erkenntniss zu bringen.

So ist bei der Akkommodation des Auges Verlängerung der Augen-
e mit stärkerer Wölbung und Verdichtung der Linse, mit Verdünnung
s Glaskörpers und mit der Zusammenziehung der Pupille verbunden.
sserdem beeinflusst die Akkommodation die Intensität und Qualität des
ervenprozesses im Sehnerven (§. 26 und 27). Alle diese Thätigkeiten sind
ülfsakte zu dem nämlichen Zwecke. Sie werden durch den Lichtreiz
f der Netzhaut in Folge einer Thätigkeit des Sehnerven vom Visorium
s nach einem gemeinsamen Plane ausgeführt. Zu dieser Ausführung
d gewisse Verbindungen von Geweben, Häuten, Muskeln, Gefässen, Ner-

ven u. s. w. zwischen den einzelnen Organen des Auges und dem Gehi erforderlich.

Im Wesentlichen sind diese einzelnen Thätigkeiten gesondert, v einander unabhängig und sollten sich nur nach der gesetzlichen Vorsch vollziehen, welche jeder einzelnen vom Visorium aus durch das e heitlich in den verschiedenen Richtungen wirkende Gehirn ertheilt wi Vermöge der Gemeinschaftlichkeit der Bündel, zu welchem sich die e zelnen Nervenfasern auf ihrem Wege nach dem Gehirne vereinigen, v möge der Gemeinschaftlichkeit der Nerven- und Gehirnmasse im Visori selbst und vermöge der Gewebe- und Gefässverbindungen im Auge tr jedoch zu jener *Selbstständigkeit* der einzelnen Akkommodatio akte eine gewisse *Abhängigkeit.* Vermöge dieser Abhängigk *weckt* oder *induzirt* die eine Thätigkeit die andere in höherem od geringerem Grade nach gewissen Beziehungen, welche wir das *Indu tionsgesetz* nennen.

Unter normalen Verhältnissen kann das Induktionsgesetz den Zwe des deutlichen Sehens nur fördern. Unter abnormen Verhältnissen jedoc wo *irgendeine* Thätigkeit des Auges beinträchtigt wird, muss dur *Induktion* offenbar eine abnorme Beeinflussung *aller übrigen Thäti keiten* stattfinden.

Das *Induktionsgesetz* wird daher auch für die *optischen Tä schungen* wichtig, namentlich in Verbindung mit dem *Kontrastgeset* (§. 34).

Es kömmt aber noch eine zweite Seite der Induktion in Betracht, welc selbst unter *normalen* Umständen Täuschungen veranlasst. Planmäss sollen und dürfen sich nämlich nur *gewisse* zur Akkommodation gehörig Thätigkeiten, *nicht aber alle* beeinflussen. So muss Verlängerung d Augenaxe eine stärkere Wölbung der Linse mit sich führen: allein oh Einfluss sollte jene Thätigkeit z. B. auf die Richtung der Normalen d Netzhaut im Umfange des Netzhautbildes oder auf den *Sehwinkel,* fe ner auf die eigentliche *Nerventhätigkeit* des Sehnerven, also a Lichtstärke und Farbe sein. Vermöge des Zusammenhanges der Geweb Gefässe und Nerven, also vermöge des allgemeinen Bauplanes für de menschlichen Körper in seiner Gesammtheit, nicht vermöge des speziell Planes für die Optik des Auges beeinflusst nun aber *irgend ein Thätigkeit alle Formen, Eigenschaften und Thätigkeite* des Auges, und erzeugt dadurch Abnormitäten oder Täuschungen.

Die letztere Beeinflussung ist die *Induktion im engeren Sinn des Wortes;* sie beruht auf den *ausserhalb des Gehirnes* liegende Verbindungen, während die vorher besprochene, im *Sehplane* liegend Induktion auf der *Gemeinschaftlichkeit des Ursprungs aller Ner ven im Gehirne* beruht und eigentlich den Namen Induktion nicht ve dient, da die einzelnen Akte dieser Thätigkeit *selbstständig* sind un die unter ihnen bestehende Abhängkeit nicht von *gegenseitiger Be einflussung,* sondern von der planmässigen, einheitlichen *Leitung de Gehirns* herrührt, sodass sie keine *Induktion der äusseren Or gane,* sondern eine *Induktion der Gehirnorgane* ist.

Zur Sonderung der Begriffe nennen wir nun die *gegenseitig Beeinflussung der Gehirnorgane, welche zur planmässigen*

Anpassung des Auges behuf des deutlichen Sehens stattfindet, Akkommodation, die gegenseitige Beeinflussung der ausserhalb des Gehirns liegenden Organe, welche nicht aus dem speziellen Sehplane, sondern aus dem allgemeinen Organisationsplane des Körpers entspringt, Induktion.

Wenn wir die Induktion in Beziehung auf den Sehplan eine nicht planmässige Wirkung nennen; so verstehen wir darunter, dass dieselbe nicht erforderlich wäre und nicht stattfinden dürfte, wenn es darauf ankäme, den Grundplan des Sehens an einem durchaus vollkommen organisirten Auge zu vollziehen. Da jedoch eine absolute Vollkommenheit des Organismus unmöglich ist, und da es sich ferner beim Gebrauche des Auges zwar in erster Linie und prinzipiell, aber doch nicht ausschliesslich um das Sehen, d. h. um die Gewinnung einer Gesichtsvorstellung, sondern in zweiter Linie oder sekundär um eine Verflechtung dieser Vorstellung mit den übrigen Thätigkeiten des Organismus (des Denkens und Empfindens) handelt, so wird die Induktion ihrerseits ebenfalls einem besonderen Plane folgen, einem bestimmten Gesetze unterliegen, dieses Gesetz wird sich mit dem Grundgesetze des Sehens oder mit dem Akkommodationsgesetze verbinden und in dieser Verbindung kann in gewisser Hinsicht eine Beeinträchtigung, in gewisser Hinsicht aber auch eine Unterstützung des letzteren liegen.

Das Akkommodationsgesetz geht aus den früheren Betrachtungen hinlänglich klar hervor. Dasselbe fordert bei der Annäherung des Objektes Verlängerung der Augenaxe, Verstärkung der Wölbung und Dichtigkeit der Linse, mehr paraboloidische Krümmungen, Verminderung der Dichtigkeit des Glaskörpers, auch Verengung der Pupille; bei der Entfernung des Objektes aber das Umgekehrte. Im Übrigen erfordert das Akkommodationsgesetz bei der Veränderung der Lichtstärke und Farbe keine Veränderung der Akkommodation, ebenso wenig bei der Veränderung der Grösse oder des Sehwinkels. Alle Thätigkeiten der letzteren Art sind Induktionswirkungen.

Aber noch durch viele anderen Thätigkeiten und Eigenschaften wird induktorisch die Sehthätigkeit beeinflusst: durch die Form, die Mannichfaltigkeit, die Aufmerksamkeit u. s. w. In der Art und Weise, wie diese Thätigkeiten sich beeinflussen, besteht das Induktionsgesetz, dessen speziellere Entwicklung in §. 35 geschehen wird.

§. 33.

Das Konkurrenzgesetz.

1. **Begriff der Konkurrenz.** Akkommodation ist die planmässige Anpassung aller Hauptorgane des Sehapparates zu einer übereinstimmenden Thätigkeit, hervorgerufen durch den Reiz einer bestimmten Eigenschaft des Objektes und zum Zwecke der genauen Erkenntniss dieser Eigenschaft; sie ist direkt abhängig von der äusseren Veranlassung.

Induktion ist die gegenseitige Anregung oder Nöthigung, welche diese Organe, wenn sie in Thätigkeit versetzt werden, aufeinander ausüben; dieselbe beruht auf dem organischen Zusammenhange der einzelnen Theile des Gesammtapparates, sie ist eine rein subjektive Thätigkeit, von äusseren Veranlassungen unabhängig; sie unterstützt die Akkommodation unter normalen Verhältnissen: unter abnormen Verhältnissen aber beeinträchtigt sie auch die richtige Akkommodation.

Genaue Akkommodation auf einen bestimmten Reiz kann offenbar nur stattfinden, wenn das zu akkommodirende Hauptorgan nur von dem einen Objekte *A* in normaler Weise affizirt wird. Wirken gleichzeitig mehrere Objekte, an welchen die gleichnamige Eigenschaft verschiedene Grade hat; so kann die Akkommodation auf keines dieser Objekte genau werden: denn da jedes Objekt seinen Akkommodationszwang ausübt; so wird das Auge einen Zustand annehmen, welcher einem Mittelzustande der Akkommodation zwischen den einzelnen geforderten Akkommodationszuständen entspricht.

Hierbei wird allerdings die Wirkung des einen Objektes vor der des anderen prävaliren: namentlich wird dasjenige Objekt, welches wir fixiren, auf welches wir also uns bemühen das Auge möglichst vollkommen zu akkommodiren, zu sehr vorwiegender Geltung kommen: allein ganz verschwinden wird die Wirkung keines einzigen der im Gesichtsfelde liegenden Objekte.

Diese Mitwirkung des Nebenobjektes *B* bei der Akkommodation auf das Objekt *A* nennen wir Konkurrenz des ersteren Objektes, oder wir sagen das Objekt *B* konkurrire mit *A* bei der Akkommodation des Auges.

Das Wesen der Konkurrenz besteht offenbar darin, dass sich der dem Objekte *A* entsprechende Zustand demjenigen nähert, welcher dem Objekte *B* entsprechen würde. Ist also z. B. die Entfernung von *B* kleiner als die von *A*; so wird sich das Auge auf *A* zu nahe und auf *B* zu weit akkommodiren, d. h. die Augenaxe wird länger werden, als sie für *A* sein müsste und kürzer, als sie für *B* sein müsste. Während das optische Bild des Objektes *A* in den Punkt *a* und das des Objektes *B* in den Punkt *b* fällt (Fig. 223) wird die Netzhaut eine Zwischenlage *c* annehmen.

Fig. 223.



Dass die beiden Objekte *A* und *B* nicht gleich weit, nämlich in der Entfernung der dem Akkommodationszustande *c* entsprechenden Sehweite erscheinen, braucht wohl nicht ausdrücklich bemerkt zu werden. Aus §. 16 No. 7 und aus §. 24 No. 5 und 6 wissen wir ja, dass wenn auch zu einer genauen Erkenntniss einer Eigenschaft eine genaue Akkommodation nöthig ist, doch eine hinreichend angenäherte Erkenntniss schon bei ganz ungenauer Akkommodation stattfindet. Die wirkliche Entfernung von *A* und *B* wird also auch bei der ungenauen Akkommodation in den Zerstreuungskreisen, welche die Bilder von *a* und *b* auf der Netzhaut entwerfen, nahezu richtig erkannt.

Die Ungenauigkeit der Akkommodation hat nur eine mehr oder weniger erhebliche, aber gleichwohl innerhalb der Grenzen der Approximation bleibende Abweichung des Urtheils von der Wahrheit zur Folge. Was nun speziell die Richtung betrifft, in welcher die Konkurrenz eines zweiten Objektes *B* das Urtheil über das erste Objekt *A* ablenkt; so nehme man erst einmal an, das Nebenobjekt *B* äussere gar keinen Einfluss bei der Akkommodation des Auges auf das Hauptobjekt *A*, das Auge akkommodire sich also scharf auf das Hauptobjekt *A* und erkenne demzufolge dieses Objekt genau und das Nebenobjekt *B* vermöge des von demselben ausgehenden Lichtreizes trotz der für *B* ungenauen Akkommodation mit einem bestimmten Grade von Genauigkeit. Dieser ideelle Stand der Erkenntniss ist es, mit welchem wir nunmehr die durch Konkurrenz entstehende wirkliche Erkenntniss vergleichen. In Folge der Einwirkung des Nebenobjektes *B* nähert sich der Akkommodationszustand demjenigen, welcher diesem Objekte *B* entsprechen würde. Ist also die Sehweite von *B* kürzer als die von *A*; so erscheint der ganze Gesichtsraum verkleinert: alle Objekte, sowohl das Hauptobjekt *A*, wie auch das Nebenobjekt *B* und alle sonstigen sichtbaren Gegenstände scheinen näher zu rücken und auch in ihren Grössendimensionen sich zu verkleinern (§. 24).

Fixirt man das nähere Objekt *B*, sodass das entferntere Objekt *A* zum konkurrirenden Nebenobjekte wird; so scheinen alle Objekte entfernter zu sein, als sie scheinen würden, wenn bei genauer Akkommodation auf *B* keine Konkurrenz von *A* stattfände.

Die Konkurrenzwirkung eines näheren Nebenobjektes besteht also darin, dass uns alle Entfernungen in dem Gesichtsraume kleiner erscheinen, als es ohne dieses Objekt der Fall sein würde; umgekehrt bewirkt ein entfernteres Nebenobjekt eine allgemeine Vergrösserung aller Entfernungen.

2. Konkurrenzgesetz. Im Vorstehenden haben wir das Wesen der Konkurrenz im Allgemeinen und die Konkurrenzwirkung der Entfernungen im Besonderen betrachtet. Von den übrigen Eigenschaften der Objekte kömmt zunächst die Grösse in Erwägung.

Da bei kugelförmigen Medien das optische Bild eines Punktes, welcher in einer gegen die Sehaxe geneigten Linie liegt, vor die Netzhaut fällt; so bewirkt ein Objekt *A* von gewisser Grösse des Sehwinkels eine gewisse paraboloidische Gestalt der Netzhaut und der brechenden Medien. Konkurrirt mit diesem Objekte ein Nebenobjekt *B* von verschiedenem Sehwinkel; so wird die für das Objekt *A* passende paraboloidische Gestalt in dem Sinne verändert werden, wie das Objekt *B* es zu seiner genaueren Akkommodation verlangen würde. Hat *B* also einen grösseren Sehwinkel; so krümmen sich die Organe noch mehr paraboloidisch und bewirken dadurch, dass sich die Netzhautbilder und scheinbaren Sehwinkel aller Objekte des Gesichtsraumes vergrössern: hat dagegen *B* einen kleineren Sehwinkel; so nehmen die Krümmungen mehr die Kugelform an und bewirken, dass sich die Netzhautbilder und scheinbaren Sehwinkel aller Objekte des Gesichtsraumes verkleinern.

Die Konkurrenz eines grösseren Nebenobjektes von der Entfernung des Hauptobjektes (d. h. eines Nebenobjektes von grösserem Sehwinkel) bewirkt also allgemeine Vergrösserung aller Objekte des Gesichtsraumes und umgekehrt.

Was die Lichtstärke und Farbe betrifft; so regt jede Thätigkeit, welche in einer Faser des Sehnerven entsteht, induktorisch alle übrigen Fasern dieses Sehnerven zu einer gleichnamigen Thätigkeit an; dieselbe ist in den zunächst gelegenen Fasern stärker als in den weiter abstehenden: prinzipiell aber umfasst sie den ganzen Sehnerven. Diese Anregung ist, wie die Konkurrenzwirkung im Allgemeinen, das Resultat der aus dem organischen Zusammenhange der Theile ganz natürlich hervorgehenden Vertheilung einer in einem einzelnen Theile erweckten Thätigkeit über die Gesammtheit.

Sowie also irgend eine Faser zu stärkerer Thätigkeit veranlasst wird, erhöht sich die Thätigkeit aller übrigen Fasern, und umgekehrt. Die Konkurrenz eines lichtstärkeren Nebenobjektes bewirkt also eine allgemeine Erhöhung der Lichtstärke aller Objekte des Gesichtsraumes und umgekehrt.

Eine einfache Verstärkung oder Schwächung des Prozesses im Sehnerven durch ein Nebenobjekt kann offenbar nur dann stattfinden, wenn die Qualität des vom Nebenobjekte angeregten Prozesses mit der der übrigen Prozesse gleich ist, d. h. wenn alle Objekte gleiche Farbe haben. In dem allgemeineren Falle, wo das Nebenobjekt eine besondere Farbe hat, leuchtet ein, dass der von ihm erweckte Prozess nur die Qualität haben kann, welche dieser Farbe entspricht. Vermöge der Konkurrenz färbt also ein Nebenobjekt alle Objekte des Gesichtsraumes mit der ihm angehörigen Farbe.

Allgemein kann man das Konkurrenzgesetz dahin aussprechen, dass man sagt, ein Nebenobjekt verleihe allen Objekten des Gesichtsraumes etwas von seinen Eigenschaften: wenn man also die Eigenschaften, welche der Gesichtsraum bei der Fixirung des Objektes *A* unter der Voraussetzung zeigen würde, dass keine Konkurrenz stattfände, zum Ausgangspunkte der Vergleichung nimmt; so bewirkt die Konkurrenz des Nebenobjektes *B* eine Veränderung dieser Eigenschaften in dem Sinne der Eigenschaften von *B*.

3. Verbindung der Konkurrenz mit der Unvollkommenheit der Akkommodation. Es ist von entschiedener Wichtigkeit, und muss lebhaft betont werden, dass die Konkurrenz nicht das relative Verhältniss der Objekte zueinander ändert, sondern dass davon alle Objekte des Gesichtsraumes, das Hauptobjekt so gut wie das Nebenobjekt und jedes andere Objekt in derselben Richtung betroffen werden, dass also die Konkurrenz den absoluten Standpunkt ändert, von welchem aus wir den Gesichtsraum betrachten. Man denke also bei der Konkurrenz durchaus nicht an Kontrast, wovon wir im nächsten Paragraphen reden werden.

Für ein ganz vollkommenes Auge würde zum richtigen Sehen aller Objekte nur eine genaue Akkommodation auf ein einziges Objekt,

s fixirte Hauptobjekt A, erforderlich sein. Die Eigenschaften aller rigen Objekte B würde man mit hinreichender Genauigkeit aus der Art d Weise beurtheilen, mit welcher diese Objekte B das auf A akkomodirte Auge affiziren. Wegen der Unvollkommenheit des Organis-us hat jedoch der wirkliche Akkommodationszustand des Auges einen nfluss auf die Beurtheilung der optischen Eigenschaften. Dieser Einfluss rd umso grösser, je weiter sich die Akkommodation von dem mittle-n Zustande entfernt. Indem wir das Auge näher akkommodiren, er-neinen uns alle Objekte näher und umgekehrt: die Zerstreuungskreise ssern nicht eine so energische Wirkung, dass das Gefühl ihrer Verän-rungen die Empfindung der Veränderungen des Akkommodationszustan-s vollkommen ausgliche und die Vorstellung von dem absoluten Werthe r Entfernungen der Objekte genau aufrecht erhielte.

Die Konkurrenz des Objektes B gesellt sich nun ganz einfach zu m allgemeinen Unvollkommenheiten der Akkommodation und Effekt entspricht den Wirkungen, welche eine Veränderung der Akkom-odation in der Richtung des Objektes B auf den ganzen Gesichtsraum rvorbringen würde.

Man erkennt leicht, dass die Konkurrenz des Objektes B, indem sie h mit der Unvollkommenheit der Akkommodation verbindet, keines-gs diese Unvollkommenheit immer erhöhen muss, dass vielmehr der ffekt in vielen Fällen auch insofern ein günstiger sein wird, als da-rch die Unvollkommenheit der Akkommodation vermindert wird.

So wissen wir, dass sich unser Auge auf ein entferntes Objekt A nahe akkommodirt. Liegt also im Gesichtsraume ein Nebenobjekt ; so wird die Konkurrenz desselben die Unvollkommenheit der Akkom-odation auf A erhöhen, wenn es näher ist, dagegen wird jene Unvoll-mmenheit vermindert, also die Entfernung von A richtiger er-nnt werden, wenn das Nebenobjekt B entfernter ist.

Was übrigens die Erheblichkeit der Konkurrenzwirkung betrifft; ist dieselbe in der Regel nicht gross (namentlich, wie wir später hen werden, schwächer als die Kontrastwirkung). In hohem Grade erwiegend bei der Anpassung des Auges bleibt, wie schon vorhin er-ähnt, das Hauptobjekt, d. h. dasjenige Objekt, welches wir fixiren. ur in besonderen Fällen kann die Konkurrenz der Nebenobjekte einen rhältnissmässig grossen Einfluss gewinnen.

4. Difformitäten und andere Abnormitäten, erzeugt durch onkurrenz. Wenn das Bild des Nebenobjektes B nicht auf das Bild s Hauptobjektes fällt, wenn also, wie es fast immer der Fall ist, beide lder auf verschiedene Stellen der Netzhaut fallen; so leuchtet ein, dass e Konkurrenz nicht bloss den Akkommodationszustand in Bezug auf die uupteigenschaften, wie Länge der Augenaxe, Wölbung und Dichtigkeit r Linse u. s. w. beeinflusst, sondern dass hieraus auch eine unsymme-ische Form- und Dichtigkeitsveränderung oder eine Difformität des nzen Auges entspringen muss. Dieselbe wird Verzerrungen in der estalt der Objekte, Undeutlichkeiten in Beziehung auf Form, Licht-irke und Farbe, Dispersion und ähnliche Unregelmässigkeiten

zur Folge haben. Da jedoch nach der letzten Bemerkung die Konkurrenzwirkung im Ganzen schwach ist; so wird auch diese Difformität in der Regel nicht bedeutend sein: indessen ist die in §. 47 zu besprechende Farbenzerstreuung in Folge einer sehr nahe an das Auge gehaltenen Kante eine der hier in Betracht kommenden Konkurrenzerscheinungen.

Eine andere abnorme Wirkung der Konkurrenz ist die partielle Verdrängung des Hauptobjektes durch das Nebenobjekt oder die Beschränkung der von jenem ausgehenden Strahlen, sobald der Strahlenkegel des Nebenobjektes in den Strahlenkegel des Hauptobjektes fällt und das Nebenobjekt dem Auge näher liegt.

In letzterem Falle kann die Konkurrenz des Nebenobjektes eine sehr nützliche Wirkung thun, wenn dasselbe diejenigen Strahlen des Hauptobjektes abschneidet, welche vorzugsweise stark aberriren, wie es z. B. beim Blicke durch ein feines Loch der Fall ist, wo das durchlochte Blatt als Nebenobjekt die Pupille oder die Basis der vom Hauptobjekte ausgehenden Strahlenkegel und damit die Randstrahlen und die Aberration beschränkt.

5. Konkurrenz der ungleichnamigen Eigenschaften. Unmittelbar konkurriren zwei Objekte mit den gleichnamigen Eigenschaften, z. B. mit ihren Entfernungen oder mit ihren Lichtstärken. Da aber die einzelnen Hauptthätigkeiten des Auges durch Induktion verbunden sind; so findet mittelbar auch eine Konkurrenz zwischen den ungleichnamigen Eigenschaften statt. Indem die Entfernung des Nebenobjektes B das auf das Hauptobjekt A sich einrichtende Auge nöthigt, eine der Entfernung von A nicht entsprechende Axenlänge und Wölbung anzunehmen, beeinflusst es unmittelbar die scheinbare Entfernung, induktorisch aber auch die scheinbare Grösse, Helligkeit und Farbe aller Objekte des Gesichtsraumes.

Diese mittelbaren Konkurrenzwirkungen lassen sich übrigens besser übersehen, wenn man nicht die Wirkung einer Eigenschaft des Objektes B auf die einzelnen Eigenschaften des Objektes A, sondern indem man die Wirkung einer bestimmten Eigenschaft von B unter der Mitwirkung aller übrigen Eigenschaften von B auf diejenige Eigenschaft von A untersucht, welche mit der ersteren gleichnamig ist. So kann man also die Konkurrenzwirkung der Entfernung des Nebenobjektes B unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Grösse, Lichtstärke und Farbe dieses Objektes auf die Entfernung des Hauptobjektes A untersuchen. Man wird sofort finden, dass die Konkurrenzwirkung von B in jeder Hinsicht umso energischer ist, je näher, je grösser und je lichtstärker es ist. Eine nähere Entwicklung dieser Beziehungen werden wir weiter unten in §. 36 geben.

6. Hauptobjekt und Nebenobjekte. Objekt und Umgebung. In ähnlicher Weise wie das eine Nebenobjekt B, wirken alle übrigen Nebenobjekte C, D, E... Die Einzelwirkungen aller setzen sich zu einer Gesammtwirkung zusammen: dem Hauptobjekte gegenüber erscheint also die Gesammtheit aller Nebenobjekte wie ein einziges Nebenobjekt B, welches die Resultante aller übrigen bildet.

Der Inbegriff aller Nebenobjekte ist der ganze umgebende Ge-ichtsraum. Dem Hauptobjekte steht also bei den Konkurrenzwirkun-gen und überhaupt bei allen Erscheinungen, bei welchen es sich um die Betheiligung eines Nebenobjektes handelt, der ganze umgebende Ge-ichtsraum als Nebenobjekt gegenüber.

Hauptobjekt ist ein Objekt nur dadurch, dass wir dasselbe fixi-en oder uns darauf möglichst gut zu akkommodiren suchen. Diese be-bsichtigte Akkommodation auf das Hauptobjekt erlangt immer einen ohen Grad von Genauigkeit, welcher unter der Einwirkung des ganzen mgebenden Gesichtsraumes in der Regel nur wenig verändert wird.

Nebenobjekte, welche dem Hauptobjekte möglichst nahe liegen, irken desshalb am stärksten, weil die von ihnen affizirten Nervenfasern en vom Hauptobjekte affizirten am nächsten liegen. Demnach konkurrirt ie nächste Umgebung des Hauptobjektes stärker als die entferntere mgebung desselben.

In aller Strenge und mit höchster Deutlichkeit vermögen wir nur nen Punkt zu fixiren, indem wir sein Bild auf den Pol der Netzhaut ihren. Die einzelnen Theile desselben Objektes spielen also ge-enüber dem auf dem Pol der Netzhaut fallenden Punkte die Rolle von ebenobjekten. Die Konkurrenzwirkung dieser Theile tritt jedoch nur ann hervor, wenn wir uns bestreben, nur einen Punkt des Objektes scharf u fixiren. Es steht jedoch, wie schon in §.18 No.10 erwähnt, in unserem elieben, die Aufmerksamkeit auf einen Raum von gewisser Ausdehnung zu ertheilen, also ein ausgedehntes Objekt zu fixiren. Die Schärfe er Fixirung sinkt alsdann natürlich und wir betrachten den aus dem eize aller Punkte dieses Objektes hervorgehenden Akkommodationszu-and als den Ausgangspunkt, auf welchen wir die Konkurrenzwirkungen er weiteren Umgebung beziehen.

7. Unbestimmte Objekte. Es scheint selbstverständlich zu sein, dass des Objekt alle optischen Grundeigenschaften besitzen, dass es also Entfer-ung, Grösse, Form, Lichtstärke und Farbe haben muss. Das ist allerdings r Fall; aber in manchen Fällen ist die eine oder andere Eigenschaft cht erkennbar oder unser Auge wird davon auf eine von der Wirklich-it so abweichenden Weise affizirt, dass wir die fragliche Eigenschaft cht dem betreffenden, sondern einem anderen Objekte zuschreiben, oder ss das Auge den äusseren Reiz empfängt und zu einer gewissen Thätig-it genöthigt wird, ohne sich der Ursache bewusst zu werden, ohne also gentlich das Objekt zu sehen.

Solche Fälle gehören zwar unter die allgemeine Kategorie optischer uschungen, sie bilden jedoch insofern eine besondere Klasse, als sie auf r Unvollständigkeit des Bewusstseins von gewissen Eigen-haften oder Objekten beruhen. Wenngleich das Bewusstsein einer Ge-htsvorstellung erst die Wirkung des äusseren Lichtreizes ist, also esen Reiz nicht unmittelbar bedingen kann; so ist dasselbe doch für die tik des Auges wichtig, weil von dem mehr oder minder vollständigen wusstsein die mehr oder minder genaue Akkommodation und dem-folge auch die vom objektiven Reize allerdings angeregte, aber un-

ter der Herrschaft subjektiver Kräfte sich vollziehende Thätigkeit abhängt.

So findet z. B. Akkommodation auf die Entfernung nicht mehr statt, wenn die Entfernung des Objektes eine gewisse Grenze überschreitet. Sonne, Mond und Sterne können nicht mehr vermöge ihrer Entfernung auf unser Auge wirken; sie sind für uns Objekte von durchaus gleicher, aber unbestimmbarer wirklicher Entfernung, womit übrigens nicht gesagt ist, dass ihre scheinbare Entfernung gleich sei, weil ja die übrigen optischen Eigenschaften, Sehwinkel, Lichtstärke und Farbe sowie die Nebenobjekte die scheinbare Entfernung beeinflussen. Indem für so entfernte Objekte das subjektive Maass für die Entfernung wegfällt, verschwindet zugleich das Maass für die Bogengrösse: die Grösse solcher Objekte wird nur noch von der Grösse des Netzhautbildes oder vom Sehwinkel abhängig.

Ebenso büssen zu nahe Objekte, wegen der Unfähigkeit des Auges sich darauf zu akkommodiren und wegen der daraus entspringenden grossen Zerstreuungsbilder und Undeutlichkeiten ihre optische Kraft sowohl hinsichtlich der Entfernung und Grösse, als auch hinsichtlich der Lichtstärke und Farbe immer mehr und mehr ein.

In hohem Grade trägt aber ein durchsichtiger Körper, vor allen die Atmosphäre, den Charakter der Unbestimmtheit in Beziehung auf Entfernung an sich, weil aus einem solchen Körper Strahlenbündel von allen in der Sehlinie hintereinander liegenden Punkten in das Auge dringen und keiner von ihnen sich als ein besonders zu fixirender markirt.

Formlosigkeit, wie sie eine einfarbige ebene Fläche darbietet, ist ebenfalls ein, wenngleich schwacher Grad von Unbestimmtheit, weil das Auge durch die Unterschiedslosigkeit der Punkte nicht kräftig genug gereizt wird, einen bestimmten Punkt zu fixiren. Gesellt sich aber Formlosigkeit zu Durchsichtigkeit, wie es bei der Atmosphäre der Fall ist; so erreicht die Unbestimmtheit den höchsten Grad, indem nun zu gleicher Zeit Entfernung, Sehwinkel und Grösse unbestimmt werden.

§. 34.

Das Kontrastgesetz.

1. Der absolute und der relative Standpunkt der Betrachtung. Für die Erkenntniss des Werthes der optischen Eigenschaften eines Objektes, seiner Entfernung, Grösse, Lichtstärke und Farbe, ist ein subjektiver Maassstab in unseren Organismus gelegt. Die Messung, Schätzung oder Werthbestimmung der Entfernung und Bogengrösse beruht direkt auf der Intensität, womit sich die Seitenkomponente der Lichtwirkung des Strahlenkegels geltend macht (§. 18) und demgemäss auf einer unbewussten Vergleichung mit der mittleren Sehweite (von etwa 250 Millimeter), auf welche sich das Auge am leichtesten und besten akkommodirt. Diese mittlere Sehweite gestaltet sich zu einer allgemei-

:n Grundeinheit für alle Raumgrössen. Ebenso beurtheilen wir e Lichtstärke nach der Intensität des Nervenprozesses im Vergleich zu r Intensität des Grundprozesses, welchen die mittlere Lichtstärke zeugt. Auch die Empfindung der Farbe stützt sich auf die Eigenümlichkeit, durch welche sich der Nervenprozess in seiner qualitatien (stofflichen, chemischen) Beschaffenheit von dem neutralen Grundozesse der weissen Farbe unterscheidet.

Bei dieser Beurtheilung eines Objektes spielen also nur die Eigenhaften dieses Objektes und die organischen Grundprozesse, welche s zu allgemeinen Maasseinheiten dienen, eine Rolle; kein Nenobjekt kömmt in Frage; die Messung geht nach allgemeinen Regeln r Grössenbestimmung vor sich: das Vergleichsobjekt ist die in unserer ganisation begründete, dem ganzen gleichartigen Grössensysteme angerige Grundeinheit; wir können daher diesen Standpunkt den absoten Standpunkt der Betrachtung nennen.

Auf dem absoluten Standpunkte der Betrachtung stehen wir, wenn s Objekt der einzige sichtbare Gegenstand ist, welcher unsere Sehätigkeit in Anspruch nimmt. Wenn jedoch gleichzeitig zwei Objekte und B auf unser Auge wirken oder durch ihren Lichtreiz uns nöthigen, nen Beachtung zu schenken, d. h. sie durch einunddieselbe Grundeinheit messen, sie als Glieder derselben Grössenkette in ein gemeinschaftnes Grössensystem einzureihen; so drängt sich uns unfreiwillig ein zwei- Standpunkt der Betrachtung auf: es ist der der Vergleichung der iden Objekte mit einander. Vergleichung ist aber nichts Anderes, Messung der einen Grösse durch die andere als Einheit, Unrsuchung des Aktes, vermöge dessen die eine Grösse B eine stematische Entwicklungsstufe der anderen Grösse A sein nn. Diesen Standpunkt kann man den relativen Standpunkt der Bechtung nennen.

2. **Kontrast.** Beim absoluten Standpunkte ist also schlechterngs die uns innewohnende Grundgrösse der Ausgangspunkt und die asseinheit für eine gewisse optische Eigenschaft des Objektes A: beim lativen Standpunkte dagegen ist das Nebenobjekt B dieser Ausngspunkt und die Maasseinheit für die betreffende Eigenschaft von A.

In einem vollkommen organisirten Auge müsste der relative andpunkt genau zu derselben Vorstellung von dem Werthe der Grösse führen, wie der absolute, da sich der Werth von B, welcher im erren Falle zur Maasseinheit für A dient, ja auch auf dieselbe Grundnheit zurückbezieht und es gleichgültig sein muss, ob ich A direkt rch diese Grundeinheit messe oder ob ich erst B durch diese Grundheit und dann A durch B bestimme. Die Unvollkommenheit des ganismus bewirkt aber, dass diese beiden Operationen nicht genau sselbe Resultat liefern. Indem wir A unmittelbar durch B messen, gt die Beziehung zur Grundeinheit, welche erst durch die Messung von durch diese Einheit und dann durch Substitution dieses Aktes in die te Operation hervorgebracht werden kann, nicht so nahe, als wenn wir direkt durch die Grundeinheit messen. Durch die Messung oder Verichung von A durch B wird B vorläufig zur Maasseinheit und gewinnt

hierdurch für unser Urtheil eine Bedeutung, welche sich durch die Zurückbeziehung auf eine andere Grundeinheit nicht vollständig auslöschen lässt. Der relative Werth von A zu B oder das Maassverhältniss von A zu B drängt sich also mit mehr oder weniger Gewalt an die Stelle des absoluten Werthes von A oder an die Stelle der Beziehung von A zur Grundeinheit und hat zur Folge, dass die Vorstellung von dem Werthe des A sich von der Wahrheit entfernt. Eben das Nämliche gilt von der Grösse B, deren Werth durch den Einfluss von A geändert wird.

Allgemein nenne ich nun den Kontrast von A gegen B den relativen Werth oder das Werthverhältniss von A zu B, die Kontrastwirkung aber die Veränderung, welche der absolute Werth des Objektes A durch diese Vergleichung mit dem Objekte B in unserem Urtheile erleidet.

Das Kontrastgesetz ist hiernach die Darlegung des Einflusses, welchen die Vergleichung zweier Objekte mit einander auf die direkte Vergleichung eines jeden derselben mit der Grundeinheit ausübt. Dieses Gesetz hat nicht bloss eine Bedeutung für die physiologische Optik, sondern eine allgemeine Wichtigkeit für die ganze Physiologie und lässt sich folgendermaassen begründen.

Wir schicken dieser Untersuchung die Bemerkung voraus, dass die Mathematik bei ihren Werthbestimmungen zwei Grundoperationen in Anwendung bringt. Die eine stützt sich auf das Gesetz des Fort- und Rückschrittes in einer Grössenreihe; ihr arithmetisches Hülfsmittel ist Addition und Subtraktion; ihr rationeller Ausgangspunkt der Nullpunkt des Systems, sonst auch irgend eine gegebene Grösse. Die zweite Grundoperation stützt sich auf das Gesetz der Vervielfältigung und Theilung; ihr arithmetisches Hülfsmittel ist Multiplikation und Division oder Messung; ihr rationeller Ausgangspunkt ist die Einheit. Wir haben nun die Kontrastwirkungen von diesen beiden Gesichtspunkten aus zu betrachten.

3. Generelle Bestimmung der Kontrastwirkung. Jede Thätigkeit (und alle Vorstellung, alles Denken, jeder Nervenprozess ist Thätigkeit, ist Arbeit und beruht auch auf einer materiellen Thätigkeit) hat eine bestimmte Richtung, deren Umkehrung dem Begriffe des Gegensatzes entspricht. Wie nun auch eine solche Thätigkeit für einen speziellen Fall beschaffen sein möge, sie kann stets wie eine Bewegung in einer gewissen Richtung angesehen werden: während dieselbe also in einfacher Ausdrucksweise einer positiven oder einer Bewegung nach rechts entspricht, ist ihr Gegensatz durch die negative oder die Bewegung nach links dargestellt. Die Beziehung, welche zwischen den beiden entgegengesetzten Richtungen einer geraden Linie besteht, ist das Grundprinzip, welches jedem Gegensatze unterliegt, und auch nur Das sind wahre Gegensätze oder entgegengesetzte (positive und negative) Grössen, deren Entstehung auf eine Bildung nach zwei entgegengesetzten Richtungen zurückgeführt werden kann. Gleichartigkeit oder Messbarkeit durch dieselbe Einheit ist eine Grundbedingung aller derjenigen Dinge, welche überhaupt zur Vergleichung gebracht werden sollen; der Gegensatz liegt nur in der entgegengesetzten Richtung, in welcher die Grössenbildung vollzogen werden muss, um die beiden gleichartigen Grössen

ı erzeugen. So besteht z. B. Gegensatz zwischen Gross und Klein, zwi-
hen Hell und Dunkel, zwischen Annäherung und Entfernung, und wenn
ufhellung, Vergrösserung, Annäherung der Bewegung nach rechts ent-
richt, ist Verdunkelung, Verkleinerung, Entfernung durch die Bewegung
ch links dargestellt.

Nicht aber besteht das Verhältniss des Gegensatzes zwischen Nahe
d Gelb, zwischen Hell und Klein. Diess sind ungleichartige Dinge,
o überhaupt keine Grössen im Vergleich zu einander. Ihre
rschiedenheit besteht nicht in der Verschiedenheit der Erzeugungs-
chtung, sondern in der Verschiedenheit der Art der messenden
nheit.

Wenn nun von den beiden Grössen A und B die eine B ihren Grös-
nwerth ändert, während die andere A unverändert bleibt; so kömmt
e Veränderung stets auf eine gewisse Bewegung in einer bestimmten
chtung zurück. Nehmen wir an, B werde kleiner und das Kleinerwerden
spreche der negativen Richtung nach links. In diesem Falle ist die
solute Veränderung, welche in dem ganzen uns umgebenden Grössen-
teme vor sich geht, allerdings lediglich auf die Veränderung von B
chränkt. Nehmen wir nun irgend eine feste Grösse oder irgend eine
össe ausser B zum Ausgangspunkte der Betrachtung an; so wird die
eichnete Veränderung ihrer Richtung nach stets der absoluten
ich, d. h. von jedem Standpunkte ausserhalb B erscheint die Verände-
ng als eine Verkleinerung von B. Nehmen wir jedoch die veränderliche
össe B selbst als Maasseinheit, denken uns dieselbe also als fest und un-
änderlich; so wird die wirkliche Veränderung von B zu einer schein-
ren Veränderung aller übrigen Grössen und zwar zu einer direkt
gegengesetzten nach rechts gerichteten oder positiven. Während
sich verkleinert, scheinen alle übrigen Grössen, also auch
sich zu vergrössern. Wenn B heller wird, scheint A sich zu
dunkeln. Indem B näher rückt, scheint A sich zu ent-
nen.

Wie schon erwähnt, ist es die Unvollkommenheit des Organismus,
che uns diese Täuschung als Wahrheit aufdringt, indem der Umweg
Vergleichung mit einer zweiten Grösse das von der Natur auf eine
ekte Messung basirte normale Urtheil trübt. Da nur Unvollkommen-
t die Veranlassung zu dieser Täuschung ist; so ist die Täuschung auch
t vollständig. Es tritt bei der Vergleichung von A mit B keines-
s B ganz und gar an die Stelle der Grundeinheit; jene Vergleichung
vielmehr nur den Effekt, dass sich der Werth von A in der umge-
rten Richtung der Veränderung von B mehr oder weniger
verändern scheint.

Hieraus ergiebt sich sofort der Schluss, dass uns eine Grösse A
so bedeutender in irgend einer Richtung erscheint, je unbe-
tender die Vergleichsgrösse B in derselben Richtung oder
edeutender dieselbe in der entgegengesetzten Richtung ist.

Dieses Resultat führt aber unmittelbar zu einem zweiten, welches da-
lautet, dass sich durch den Kontrast nicht bloss der Unterschied
beiden Objekte, sondern auch der absolute Werth eines jeden
gestalt zu ändern scheint, dass das bedeutendere noch be-

deutender und das unbedeutendere noch unbedeutend wird.

Denn angenommen A sei der höhere Grad der betreffenden Eig schaft des einen und B der niedrigere Grad dieser Eigenschaft des ander Objektes und die absolute Differenz beider sei $A - B = a$. Gehen jetzt von zwei Objekten aus, welche die fragliche Eigenschaft in gleich Grade A haben, sodass keines das andere beeinträchtigen kann. Sin nun die Eigenschaft des einen um a, also auf den absoluten $A - a =$ so wird das andere Objekt nach dem vorhergehenden Satze bedeute der, z. B. in der Bedeutung $A + b$, erscheinen. Das Objekt A scheint also dem kleineren Objekte B gegenüber bedeutender, einem ihm gleichen Objekte gegenüber. Geht man aber von zwei O jekten aus, welche beide den Werth B haben, und lässt das eine um wachsen, also auf $B + a$ steigen; so sinkt nach Vorstehendem d scheinbare Werth des anderen, etwa um b, erscheint also in dem Wert $B - b$, folglich unbedeutender. Das Objekt B erscheint mithin de grösseren Objekte A gegenüber unbedeutender, als einem ihm gle chen Objekte gegenüber.

Durch den Kontrast wird daher nicht bloss der Unte schied zweier Objekte vergrössert, sondern es wird schei bar auch der absolute Werth des grösseren vergrössert u der des kleineren verkleinert.

Die vorstehende Bestimmungsweise der Kontrastwirkung entspric genau der mathematischen Grössenbestimmung durch Fort- und Rüc schritt, nicht der Bestimmung durch Messung. Bezeichnen wir nämli den Kontrast von A zu B durch das Symbol $[A, B]$; so haben wir i Vorstehenden das Kontrastbild $[A, B]$ einmal mit dem kontrastlos Bilde $[A, A]$ und einmal mit dem gleichfalls kontrastlosen Bilde $[B,$ verglichen und gefunden, dass in jenem Kontrastbilde A bede tender erscheint als in dem zweiten Bilde und zwar höchste um den Betrag $A - B = a$, ferner dass in dem Kontrastbil B unbedeutender erscheint als in dem dritten Bilde u zwar gleichfalls höchstens um den Betrag a. Die Bestimmu des scheinbaren absoluten Werthes von A in jenem Kontrastbilde nim also ihren Ausgang von dem Werthe von A in dem kontrastlosen Bil $[A, A]$ und bezeichnet die durch Fortschritt hinzuzufügende Grösse welche zu dem im Kontrastbilde scheinbar entstehenden Werthe von führt.

Wenn A' der scheinbare Werth ist, welchem A entgegenstre (ohne ihn jedoch zu erreichen) und B' der scheinbare Werth, welchem entgegenstrebt; so hat man $A' = A + a = A + (A - B) = 2A -$ und $B' = B - (A - B) = 2B - A$. Nach Vorstehendem ist nu der Werth, welchen A in dem Kontrastbilde $[A, B]$ annimmt, der schei bare Werth von X in dem Bilde $[X, A]$, wenn darin X einen zwischen und A' liegenden Werth hat; der Werth von B in jenem Kontrastbil ist der scheinbare Werth von Y in dem Bilde $[Y, B]$, wenn darin Y ein zwischen B und B' liegenden Werth hat.

Eine Analogie hierzu ist der Fall, wo es sich z. B. um eine Ortsb stimmung durch geographische Breiten handelte. Rom hat eine nör

liche Breite, welche die Vorstellung der Bewegung vom Äquator nach Norden erweckt. Ebenso Paris. Es ist aber klar, dass Rom, von Paris aus gesehen, oder im Kontraste mit Paris, wegen der von dort einzuschlagenden südlichen Richtung südlicher zu liegen scheint, als von Rom selbst aus gesehen, wogegen Paris, von Rom aus gesehen oder im Kontraste mit Rom eine nördlichere Lage zu haben scheint, als von Paris selbst aus gesehen.

4. Messung der Kontrastwirkungen. Zur vollständigen Erkenntniss der Grössenbeziehungen ist nun aber auch die Betrachtung derselben von dem zweiten vorhin genannten Gesichtspunkte aus, also die Messung derselben erforderlich. Messung ist Zurückbeziehung nicht auf einen Nullpunkt, sondern auf eine Einheit, nicht durch das Fortschrittsgesetz, sondern durch das Vervielfältigungsgesetz. Zur Messung der Kontrastwirkungen ist also eine Einheit erforderlich: da die Einheit eine mit den zu messenden Grössen gleichartige Grösse sein muss; so kann hier nur eine gewisse Kontrastwirkung in Frage kommen, mit welcher die Kontrastwirkung von A zu B verglichen wird. Offenbar kann die gesuchte Einheit nicht die in vorstehender Nummer zum Ausgangspunkte dienende Wirkung des Bildes $[A, A]$ sein: denn diese Kontrastwirkung ist null, und kann daher wohl der Ausgangspunkt für die Anwendung eines Fortschrittgesetzes, nicht aber für die Anwendung des Vervielfältigungsgesetzes sein.

Die geuchte Maasseinheit muss also eine bestimmte Kontrastwirkung repräsentiren. Wenn A den absoluten Werth irgend einer Eigenschaft, also das Verhältniss derselben zu der Einheit dieser Eigenschaft darstellt; so bezeichnet 1 die Einheit für die verschiedenen Werthe der fraglichen Eigenschaft. Für die optischen Eigenschaften der Dinge ist die natürliche Einheit der schon mehrmals erwähnte mittlere oder normale Werth derselben; bei Entfernungen können wir uns also unter 1 die mittlere Sehweite von etwa 250 Millimeter, bei Grössen die normale Grösse der deutlich erscheinenden Objekte, bei Helligkeiten dagegen die mittlere Tageshelle, bei Farben das Weiss vorstellen. Die Einheit nun, nach welcher wir die Kontrastwirkung auf die Grösse A in dem Kontrastbilde $[A, B]$ messen, sei die Kontrastwirkung $[A, 1]$, welche der Kontrast von A gegen den Normalwerth 1 der betreffenden optischen Eigenschaft hervorruft. Ebenso messen wir die Kontrastwirkung auf die Grösse B in jenem Bilde durch die Kontrasteinheit $[A, 1]$.

In allen Fällen sei von den beiden Eigenschaften A und B die erstgenannte A die bedeutendere, also $A > B$, folglich das Werthverhältniss von A zu B oder $\frac{A}{B} > 1$. Die absoluten Grenzwerthe, welche A und B in dem Kontrastbilde $[A, B]$ anzunehmen streben, seien A' und B'. Unter absolutem Werthe von A verstehen wir jetzt den Werth, welchen A annimmt, wenn es mit dem normalen oder Einheitswerthe 1 verglichen wird oder gegen denselben kontrastirt.

Wegen des Kontrastes scheint der absolute Werth von A sich dem

relativen Werthe $\frac{A}{B}$ zu nähern. Wenn also der scheinbare Werth A auch nicht völlig $= \frac{A}{B}$ wird; so sucht er ihm doch mehr oder wenig nahe zu kommen. Der äusserste mögliche Grenzwerth, welchem A entgegenstrebt, ist mithin $\frac{A}{B}$. Da nun das Verhältniss $\frac{A}{B}$ umso grösse wird, je kleiner B ist; so erkennt man auch hier, wie in No. 3, ganz al gemein, dass eine Grösse A umso bedeutender erscheint, je un bedeutender die Vergleichsgrösse oder die kontrastirend Grösse B ist. Im Übrigen sind zur genaueren Bestimmung der Kon trastwirkungen die drei in Fig. 224, 225 u. 226 dargestellten Fälle zu unterscheiden, wonach ent weder $A > 1$ und $B < 1$ oder $A < 1$ und $B < 1$ oder $A > 1$ und $B > 1$ ist.

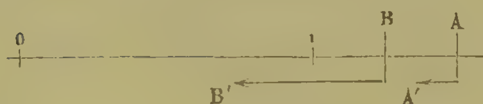
Fig. 224.



Fig. 225.



Fig. 226.



Erster Fall, $A > 1, B < 1$ (Fig. 224). Indem sich ver möge des Kontrastes der abso lute Werth von A dem relati ven Werthe $\frac{A}{B}$ nähert, ver grössert sich offenbar scheinbar A, weil $\frac{A}{B} > A$ ist. Indem sich aber B dem Werthe $\frac{B}{A}$ nähert, verkleinert es sich scheinbar, weil $\frac{B}{A} < B$ ist.

Zweiter Fall, $A < 1$ und $B < 1$ (Fig. 225). Indem sich A dem Werthe $\frac{A}{B}$ nähert, vergrössert sich A. Ebenso vergrössert sich B, indem es sich dem Werthe $\frac{B}{A}$ nähert. Durch diesen Kontrast vergrösseren sich also beide Grössen A und B, allein A in höherem Grade als B; denn da $B < A$ ist; so ist die Vergrösserung von A beim Übergange auf $\frac{A}{B}$ bedeutender, als die Vergrösserung von B beim Übergange auf $\frac{B}{A}$. Der Grenzwerth $A' = \frac{A}{B}$, welchem A entgegenstrebt, ist > 1; der Grenzwerth $B' = \frac{B}{A}$, welchem B entgegenstrebt, bleibt jedoch < 1.

Dritter Fall, $A > 1, B > 1$ (Fig. 226). Indem A dem Werthe $\frac{A}{B}$

gegenstrebt, verkleinert es sich ebensowohl wie B, indem es dem rthe $\frac{B}{A}$ entgegengeht. A und B verkleinern sich also scheinbar beide, edoch erheblicher, als A, da $A > B$ ist. Ausserdem ist der Grenzwerth $= \frac{B}{A}$, welchem B entgegenstrebt, < 1.

Aus Vorstehendem folgt, dass das Verhältniss $\frac{A'}{B'}$ der scheinbaren the, welchen A und B durch den Kontrast entgegenstreben, in al- Fällen sich vergrössert: denn da $A' = \frac{A}{B}$ und $B' = \frac{B}{A}$ ist; at man $\frac{A'}{B'} = \left(\frac{A}{B}\right)^2$, welcher Werth $> \frac{A}{B}$ ist, weil $A > B$ ist.

Durch den Kontrast vergrössert sich also der relative rth von A im Vergleich zu B oder es verkleinert sich der tive Werth von B zu A: was jedoch die scheinbare Veränderung absoluten Werthe von A und B, d. h. die Werthe, welche A und B Vergleich zur Einheit 1 oder im Kontraste zu dem Normal- the der fraglichen Eigenschaft anzunehmen scheinen; so erhält man den, hen A in dem Kontrastbilde $[A, B]$ hat, durch den Werth von X in Kontrastbilde $[X, 1]$, worin X zwischen A und $A' = \frac{A}{B}$ liegt, eben- en Werth, welchen B in jenem Kontrastbilde hat, durch den Werth Y in dem Kontrastbilde $[Y, 1]$, worin Y zwischen B und $B' = \frac{B}{A}$

Im ersten der drei vorhin betrachteten Fälle (Fig. 224) scheint also solut bedeutender und B absolut unbedeutender zu werden. Ein ogon dieses Falles ist die Vergleichung der beiden Zahlen 1000 und . Wenn 1000 eine grosse Zahl ist, d. h. eine grosse Zahl im leich zur Einheit, so ist 1 eine grosse Zahl im Vergleich zu $^1/_{1000}$. Zahl 1000 erscheint uns daher viel bedeutsamer, wenn wir dieselbe unmittelbar mit der Einheit, sondern direkt mit dem kleinen Theile dieser Einheit und dadurch indirekt mit der Einheit vergleichen. so erscheint $^1/_{1000}$ absolut unbedeutender im Gegensatze zu 1000, als egensatze zu 1 oder bei indirekter Vergleichung mit 1 durch Ver- ung der Zahl 1000, als bei direkter Vergleichung mit 1. Ein hel- Objekt erscheint gegenüber einem dunklen absolut heller und das kle erscheint gegenüber einem hellen absolut dunkler, als gegen- einem Objekte von mittlerer Helligkeit.

Im zweiten der obigen drei Fälle (Fig. 225) scheint A und B absolut utender zu werden, A jedoch in höherem Grade als B, und kann , obgleich es absolut < 1 ist, > 1 erscheinen. Dieser Fall ent- t etwa der Vergleichung der Zahlen $^{80}/_{100}$ und $^6/_{100}$. Dass $^{80}/_{100}$ die Vergleichung mit $^6/_{100}$ gewinnt, leuchtet ein, auch dass die bare Vergrösserung von $^{80}/_{100}$ möglicherweise den Werth 1 über- n kann. Dass aber auch $^6/_{100}$ durch die Vergleichung mit $^{80}/_{100}$

gewinnt, ist ebenso klar, weil $^{6}/_{100}$ von $^{80}/_{100}$ ein erheblicherer T ist, als von 1. Zwei dunkle Objekte erscheinen also durch den Kont beide heller, als sie gegenüber einem Objekte von mittlerer Hellig 1 erscheinen; das dunkelste wird durch den Kontrast am wenigsten (d nach Verhältniss seines wirklichen Werthes) gehoben; das weni dunkle aber mehr und kann unter Umständen sogar hell ($>$ 1) erschein

Im dritten Falle (Fig. 226) scheint A und B absolut unbedeut der zu werden, B jedoch in stärkerem Grade als A, und kann sogar, gleich es absolut $>$ 1 ist, $<$ 1 erscheinen. So verliert durch den gensatz der beiden Zahlen 3 und 700 die erstere erheblich und kann gar als sehr klein erscheinen: die letztere Zahl 700 verliert aber du diese Vergleichung ebenfalls, weil sie von 3 kein so erhebliches Vielfac ist, als von 1. Zwei helle Objekte erscheinen also durch den Kont beide dunkler, als sie gegenüber einem Objekte von mittlerer Hel keit erscheinen; das hellere wird durch den Kontrast am wenigsten (d nach Verhältniss seines wirklichen Werthes) beeinträchtigt, das weni helle jedoch mehr und kann unter Umständen sogar dunkel erschein

Der Unterschied zwischen dem in dieser Nummer gefundenen Result und dem in der vorhergehenden Nummer gewonnenen ist leicht zu erkenn Das letzte Beispiel sagt: die Zahl 700 erscheint gegenüber der Zahl 3 klein, d. h. kleiner als gegenüber der Einheit 1; auch erscheint die Z 3 gegenüber der Zahl 700 zu klein, nämlich kleiner als gegenüber Einheit 1. Hierzu bemerkt die vorhergehende Nummer: die Zahl 7 erscheint gegenüber der Zahl 3 grösser, als gegenüber einer ihr gl chen Zahl 700, und die Zahl 3 erscheint gegenüber der Zahl 700 klein als gegenüber einer ihr gleichen Zahl 3. In Beziehung auf zwei he Objekte A und B, wovon A das hellere und B das dunklere ist, lehrt gegenwärtige Nummer, dass A im Kontraste zu B dunkler, als im K traste zu dem Objekte von normaler Helligkeit, auch dass B im K traste zu A dunkler, als im Kontraste zu dem Objekte von norma Helligkeit 1 erscheint, wogegen die vorhergehende Nummer lehrt, d A im Kontraste zu B heller, als gegenüber einem ebenso hellen C jekte, und dass B im Kontraste zu A dunkler, als gegenüber ein ebenso hellen Objekte erscheint.

Die Ergebnisse dieser beiden Nummern widersprechen sich also ni nur nicht, sondern sie ergänzen sich zur vollständigen Erkenn niss der Kontrastwirkungen in einer mit dem wirklichen Erfol genau übereinstimmenden Weise.

Wir bemerken noch, dass wenn der Werth des unbedeutenderen C jektes B gleich null ist, der äusserste Grenzwerth A', welchem A e gegenstrebt, $A' = \frac{A}{B}$ = unendlich ist, wogegen der äusserste Gre werth B', welchem B entgegengeht, $B' = \frac{B}{A}$ = null bleibt. I Nullwerth kann sich also durch Kontrast überall nicht ändern; je Grössenwerth A aber, erscheint dem Nullwerthe gegenüber möglich vergrössert. Jedes Objekt erscheint hiernach im Kontraste mit d absolut lichtleeren oder schwarzen am hellsten.

Wenn beide Objekte gleichen Werth haben, wenn also $A = B$ und $\frac{1}{\beta} = \frac{B}{A} = 1$ ist; so findet kein Kontrast statt. Nach der vorhergehenden Nummer wird für das kontrastlose Bild $[A, A]$ $a = A - B = 0$, also $A' = A$ und $B' = B = A$, d. h. das Objekt A erscheint in diesem Bilde ebenso hell, wie es einem ihm gleichen Objekte gegenüber erscheint, was selbstverständlich ist. Die gegenwärtige Nummer sagt, dass der Werth von A in dem Bilde $[A, A]$ sich dem Werthe zu nähern scheint, welchen die Einheit gegenüber der Einheit in dem Bilde $[1, 1]$ annimmt. Hieraus geht also hervor, dass wenn $A > 1$ ist, das Objekt A einem ihm gleichen Objekte gegenüber kleiner erscheint, als der Einheit gegenüber, und dass wenn $A < 1$ ist, das Objekt A einem ihm gleichen Objekte gegenüber grösser erscheint, als der Einheit gegenüber, was ebenfalls einleuchtet.

5. Kontrast zwischen Grössen von verschiedener Art. Nur Grössen von gleicher Art können kontrastiren; nur solche Grössen lassen Vergleichung und Messung durch dieselbe Einheit zu. Ungleichartige Grössen verhalten sich indifferent gegeneinander und verstärken sich weder unmittelbar, noch schwächen sie sich unmittelbar. Wenn jedoch Grössen dasselbe Organ affiziren; so erlangen sie dadurch, nämlich vermöge ihrer physiologischen Wirkung den Charakter von Gleichartigkeit und verursachen Kontrastwirkungen. So haben zwar Grösse und Intensität Nichts miteinander gemein: allein da die Affektion der doppelten Anzahl von Fasern des Sehnerven mit gleicher Intensität für den Gesammtnerv einen ähnlichen Effekt hervorbringt, wie die Verdopplung der Intensität bei gleicher Anzahl dieser Fasern; so ist klar, dass die Helligkeitskontraste durch die Grösse der Objekte und umgekehrt die Grössenkontraste durch die Helligkeiten mit bedingt sind, sodass ein grosses helles Objekt gegen ein dunkles einen stärkeren Helligkeitskontrast hervorbringt, als ein kleines helles, und dass ein grosses dunkles Objekt gegen ein helles einen stärkeren Helligkeitskontrast hervorbringt, als ein kleines dunkles. Das grosse helle wirkt bei Helligkeitskontrasten wie ein helleres, das kleine helle wie ein weniger helles, das grosse dunkle wie ein dunkleres, das kleine dunkle wie ein weniger dunkles Objekt.

Ebenso wirkt bei Grössenkontrasten ein helles grosses Objekt wie ein grösseres, ein dunkles grosses wie ein kleineres, ein dunkles kleines wie ein kleineres, ein helles kleines wie ein grösseres Objekt.

Raumgrössen, wie Linien sind wirklich gleichartige Dinge, welche Richtung sie auch haben mögen. Dieselben kontrastiren also wirklich: wir wollen diese Grössenart jedoch erst weiter unten näher betrachten.

Zuvor haben wir noch zu bemerken, dass uneigentlich auch ungleichartige Grössen kontrastiren können. Die Sache ist möglichst allgemein so darzustellen.

Angenommen $a, b, c \ldots$ seien durchaus heterogene Grössen, aber es sei a mit a_1, b mit b_1, ferner c mit c_1 u. s. w. homogen oder gleichartig. Ferner sei A aus den Grössen $a, b, c \ldots$ und B aus den Grössen $a_1, b_1, c_1 \ldots$ zusammengesetzt, sodass man $A = a + b + c + \cdots$ und $B = a_1 + b_1 + c_1 + \cdots$

schreiben kann. Jetzt wird offenbar a mit a_1, b mit b_1, c mit c_1 u. s. w. kontrastiren und wenn resp. a', b', c'... die scheinbaren Werthe von a, b, c..., ferner a_1', b_1', c_1',... die scheinbaren Werthe von a_1, b_1, c_1... sind, werden $A' = a' + b' + c' + \ldots$ und $B' = a_1' + b_1' + c_1' + \ldots$ die scheinbaren Werthe von A und B sein, welche aus dem Kontraste von A und B hervorgehen.

Sind nun die beiden Grössen A und B einfach und ungleichartig; so kann A immer als eine Kombination von A mit dem Nullwerthe von B angesehen, also $A = A + 0$ gesetzt, ebenso kann B als eine Kombination von B mit dem Nullwerthe von A, es kann also $B = 0 + B$ gesetzt werden. Ist nun A' der scheinbare Werth von A im Kontraste mit seinem Nullwerthe und B' der scheinbare Werth von B im Kontraste mit seinem Nullwerthe; so wird der Kontrast von A und B bewirken, dass A als A' und B als B' erscheint.

Die Kontrastwirkung der aus mehreren ungleichartigen Grössen a, b, c... zusammengesetzten Grössen, wobei es sich doch immer um den Kontrast der gleichartigen Grössen $a + a_1$, $b + b_1$, $c + c_1$ u. s. w. handelt, von welchen die eine oder andere auch den Nullwerth haben kann, findet unmittelbar Anwendung auf den Kontrast der Farben. Komplementärfarben, welche gar keine einfachen Elemente miteinander gemein haben, kontrastiren am stärksten, schwächer ist der Kontrast zwischen Farben, welche mehr oder weniger Elemente gemein haben. Das Wesen der Farbenkontraste werden wir in §. 41 näher ermitteln.

Von dem eigentlichen Farbenkontraste ist der Intensitätskontrast durchaus zu trennen. Übrigens spielt die Intensität bei den einfachen Farbenelementen eine ähnliche Rolle der Verstärkung, wie sie vorhin schon bei der Konkurrenz der Intensität mit der Grösse besprochen ist.

Was jetzt die Raumgrössen betrifft; so wissen wir allerdings, dass Linien von verschiedener Länge und Richtung gleichartig sind, indem sie alle durch denselben Prozess des Fortschritts und der Drehung aus der positiven Einheit hervorgehen und $ae^{\alpha\sqrt{-1}}$ der allgemeinste Ausdruck einer solchen Linie ist. Allein komplizirter wird das Verhältniss bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Richtung dadurch, dass sich zu dem bei absoluten Quantitäten nur in Betracht kommenden Begriffe des Fortschritts noch der Begriff der Drehung gesellt. Die gesetzliche oder mathematische Beziehung zwischen diesen beiden Begriffen liegt nicht so nahe, dass sie ohne besondere Abstraktionen erkannt werden könnte; dem Nichtdenker und überhaupt dem sinnlichen Auge erscheinen jene beiden Begriffe als heterogen, und Diess hat zur Folge, dass die Kontrasterscheinungen zwischen Linien im Raume sich aus den eigentlichen Kontrasten zusammensetzen, welche Längen gegen Längen und Winkel gegen Winkel oder Richtungen gegen Richtungen bilden. Wenngleich wir hiernach annehmen, dass nicht eine Länge mit einer Richtung, sondern nur mit einer Länge kontrastirt; so müssen wir doch hinzufügen, dass bei gleichzeitigem Vorhandensein verschiedener Längen und Richtungen das eine Merkmal das andere mehr oder weniger unterstützt oder schwächt, ähnlich wie Grösse und Helligkeit sich

nterstützen und schwächen. Ebenso spielt der Abstand der einzelnen ,inien von einander eine Rolle bei der Kontrastwirkung.

Endlich ist zu erwägen, dass es für räumliche Grössen eine absolute Iaasseinheit nicht giebt. Die mittlere Sehweite vertritt zwar für as Auge diese Einheit in gewissen Beziehungen, jedoch nicht in der Weise, ass wir uns gedrungen fühlten, jede andere Länge durch das mathema-sche Gesetz der Vervielfältigung oder Theilung aus der mittleren ehweite hervorgehen zu lassen oder dieselbe durch die mittlere Sehweite athematisch zu messen. Wir fühlen bei der Anschauung zweier Li-en nicht nothwendig das Bedürfniss, sie durch eine Einheit zu essen. Wohl aber erkennen wir ihre Verschiedenheit im Allgemei-en, d. h. im Sinne der Betrachtung von No. 3, wobei es sich nur um den nterschied handelte, welcher in dem Grösser- und Kleinersein über-aupt liegt, nicht aber um das Verhältniss zu einer festen Einheit, elches der Betrachtung von Nr. 4 zu Grunde liegt. Für den Kontrast on Raumgrössen sind daher die Resultate No. 3 wichtiger, als die von o. 4; die letzteren gewinnen nur in solchen Fällen Bedeutung, wo wir der Lage sind, uns von dem eigentlichen Verhältnisse zweier Grössen und B zu einander und zu einer festen Einheit Rechenschaft zu aben.

Die Fundamentalsätze, welche dem Kontraste der Linien im Raume Grunde liegen, sind hiernach folgende.

Wenn alle Längen dieselbe Richtung haben und auch in dersel-en geraden Linie liegen; so kömmt das Merkmal der Richtung nicht eiter in Betracht. Der Abstand kann aber noch eine Rolle spielen, nd wird es in der Weise thun, dass die entfernteren Strecken wie leinere und die näheren wie grössere wirken. Im Übrigen ommen auf solche Längen die Kontrastgesetze aus No. 3 in Anwendung.

Einen festen oder absoluten Nullpunkt für die Raumgrössen giebt ebenso wenig wie eine feste oder absolute Einheit. Jeder Punkt einer eraden Linie, auf welchen wir das Auge richten, kann daher als Null-unkt dienen. Im Allgemeinen kann also von den eben erwähnten Linien ur das Merkmal der Länge in Betracht kommen, ohne Rücksicht auf ositive oder negative Richtung.

Unter Umständen markirt sich jedoch ein spezieller Punkt als Null-unkt. Theils hat der Wille, welcher sich auf eine gewisse Reflexion ützt, theils aber auch die Umgebung einen Einfluss darauf. Allgemein ann man sagen, dass jeder Punkt, welcher sich durch irgend eine Eigen-haft auszeichnet, in welchem also das gleichförmige Wesen einer eraden Linie durch irgend Etwas unterbrochen wird, die Neigung er-eckt, ihn vor allen anderen Punkten derselben geraden Linie zum Null-unkte anzunehmen. So induzirt uns z. B. der Punkt einer geraden inie, in welchem dieselbe von einer anderen geschnitten wird, ihn für e zunächst liegenden Linienabschnitte zum Nullpunkte zu wählen; enso macht sich jeder Eckpunkt einer Figur, jeder Punkt, wo Helligkeit er Farbe wechselt, als Nullpunkt geltend.

Sobald auf solche Weise ein Nullpunkt sich markirt, tritt die Be-ehung zwischen direkten und direkt entgegengesetzten, zwischen posi-ven und negativen Grössen auf.

Die *Entgegensetzung der Richtung* verstärkt den Kontra[s]t; überhaupt kontrastirt jede positive mit jeder negativen Grösse; in de[m] Kontrastbilde $[A, -B]$ scheint sowohl das positive A, wie das negative in ihrer absoluten *Länge zu wachsen*, welchen Längenwerth sie au[ch] haben mögen. Der Kontrast zwischen den beiden entgegengesetzt liege[n]den A und B ist also ein ganz anderer, jenachdem für beide nur ih[re] *Länge* in Betracht kömmt oder irgend ein besonderer Umstand u[ns] nöthigt, ihre *Richtung* als eine *entgegengesetzte* aufzufassen.

Was vom *Nullpunkte* gilt, gilt auch von dem *Nullwerthe* d[er] *Richtung* oder von der Lage der *Grundaxe* für die Linien im Raum. Solange es sich nur um *parallele* Linien handelt, kömmt eine *Rich[tungsverschiedenheit]*, ausser etwa dem Gegensatze vom Positiv[en] und Negativen nicht in Betracht; sobald jedoch Linien von verschieden[er] *Neigung* vorkommen, tritt zunächst die *Winkelgrösse* als besonder[es] Merkmal auf.

Die *Winkelgrössen* kontrastiren nun mit einander wie ande[re] absoluten Grössen nach No. 3. Der grössere Winkel A erscheint gege[n]über dem kleineren B grösser, als er einem ihm gleichen Winkel gege[n]über erscheinen würde und der kleinere Winkel erscheint kleiner.

Wenn sich irgend eine Richtung des Raumes vor anderen au[s]*zeichnet*; so erhebt sie damit den Anspruch, als *Grundrichtung* ang[e]sehen zu werden. In diesem Falle tritt auch in Beziehung auf d[ie] *Winkelgrössen* oder die Richtungen der Linien der Gegensatz zw[i]schen *positiver und negativer Drehung* (nach rechts und links) a[uf] und in diesem Falle kontrastiren zwei entgegengesetzte Winkel stets stärke[r].

Die *Richtungsverschiedenheit* beeinflusst auch den Kontra[st] zwischen zwei *Längen*. Die direkt *entgegengesetzte* Richtung *ver*stärkt, wie schon vorhin erwähnt, den Kontrast am *meisten*. Was di[e] übrigen Richtungen betrifft; so findet zwischen zwei *rechtwinklige[n]* Linien *direkt* kein Längenkontrast statt, wohl aber in der schon vorhi[n] erwähnten indirekten Weise, wie zwischen zwei *heterogenen* Grösse[n], indem die Richtung einer Linie in dem Perpendikel darauf mit ihre[m] *Nullwerthe* vertreten ist. Ist also $B\sqrt{-1}$ ein Perpendikel auf A, so erscheint in dem Kontrastbilde $[A, B\sqrt{-1}]$ A gegenüber dem Per[]pendikel $B\sqrt{-1}$ ebenso gross wie gegenüber einem *Punkte*, und $B\sqrt{-[1]}$ erscheint dem Perpendikel A gegenüber ebenso gross wie gegenübe[r] einem Punkte. Der Kontrast bewirkt also eine scheinbare *Verlängerun[g]* von A und von $B\sqrt{-1}$, d. h. A erscheint im Kontraste mit $B\sqrt{-[1]}$ länger als im Kontraste mit einer gleich langen und gleich gerichtete[n] Linie A und Dasselbe gilt von dem Perpendikel $B\sqrt{-1}$.

Bezeichnet man zwei geneigte Linien A und B durch ihre *recht*[-]*winkligen Koordinaten*, setzt also $A = A_1 + A_2\sqrt{-1}$ un[d] $B = B_1 + B_2\sqrt{-1}$; so kontrastiren die Abszissen A_1 und B_1 für sic[h] und die Ordinaten $A_2\sqrt{-1}$ und $B_2\sqrt{-1}$, und aus diesen partielle[n] Kontrasten setzt sich der totale zusammen.

Die Linien A und $B\sqrt{-1}$ liegen in einer Ebene, der *Grund*[-]*ebene*. Die auf dieser Ebene normal stehenden Linien, welche ich i[n]

n „Situationskalkul" mit $C\sqrt{\div 1}\sqrt{-1}$ bezeichnet habe, verhalten h zu allen in der Grundebene liegenden Linien wie heterogene össen, kontrastiren also dagegen wie gegen ihren Nullwerth.

Stellt man allgemein zwei Linien A und B von beliebiger Richtung Raume durch drei rechtwinklige Koordinaten in der Form

$$A = A_1 + A_2\sqrt{-1} + A_3\sqrt{\div 1}\sqrt{-1}$$
$$B = B_1 + B_2\sqrt{-1} + B_3\sqrt{\div 1}\sqrt{-1}$$

r; so kontrastiren für sich die Koordinaten A_1 und B_1, ferner $A_2\sqrt{-1}$ d $B_2\sqrt{-1}$ und endlich $A_3\sqrt{\div 1}\sqrt{-1}$ und $B_3\sqrt{\div 1}\sqrt{-1}$.

Der Kontrast ist am stärksten, wenn die Linien in demselben Punkte sammenstossen. Derselbe schwächt sich umso mehr, je grösser der Abind der miteinander zu vergleichenden Linien ist.

Eine weitere Ausführung der geometrischen Kontrastwirkunn behalten wir uns auf §. 48 vor.

6. Materieller Prozess, welcher die Kontrastwirkungen be-eitet. Die scheinbare Veränderung, welche eine Grösse durch den ntrast gegen eine andere erleidet, ist nicht bloss mit einer Veränderung s materiellen Gehirnprozesses begleitet, auf welchem die Vorstellung n jenem Grössenwerthe beruht, sondern auch mit einer Veränderung des undprozesses des äusseren Organes, welches den Eindruck jener Grösse fnimmt. Wenngleich also die Kontrastwirkung insofern eine Täuschung , dass sie der Wirklichkeit nicht entspricht; so hat sie doch in der nsicht eine subjektive Realität, als sie auf einem wirklichen, ihrem fekte äquivalenten Nervenprozesse beruht.

Man kann sich nämlich sagen, dass jedes Organ eine Neigung hat, it einer seiner Natur entsprechenden mittleren Kraft zu arbeiten, dass m weder eine Steigerung, noch eine Schwächung seiner normalen Thägkeit konvenirt, dass es also dem äusseren Zwange zu einer solchen eränderung nicht mit dem der Grösse des Zwanges entsprechenden Grade lgt. Dass die Leistung eines Organs ein gewisses Maximum durchaus cht überschreiten kann, selbst wenn eine Nöthigung dazu vorläge, ist und für sich klar. Setzen wir also voraus, die Summe der Thätigkeit, elche der Sehnerv auf Verarbeitung des Gesichtsfeldes verwende, sei ein ch stets gleich bleibendes Quantum; so haben wir zwar nicht den er Wirklichkeit entsprechenden, aber doch einen Zustand vor uns, welchen as Organ anstrebt und aus welchem der Schluss über die generelle Art nd Weise, wie der auf ein Objekt A gerichtete Prozess den auf ein andes Objekt B gerichteten Prozess beeinflusst, folgendermaassen gezogen erden kann.

Das Objekt A affizire a Primitivfasern des in dem betreffenden entralapparate des Gehirns ausmündenden Nervenbündels mit der Intenität α: alsdann ist das Produkt $a\alpha = a'$ das Maass für die Beanpruchung des Gehirns durch das Objekt A. Ebenso affizire das Obekt B in ähnlicher Weise b Primitivfasern des Nerven mit der Intensität β, sodass $b\beta = b'$ das Maass für die Beanspruchung des Gehirns durch as Objekt B ist. Vermehrt sich jetzt die Beanspruchung a' durch das

erste Objekt (entweder durch Vermehrung der Zahl a der affizirten Fas oder der Intensität α oder durch Beides, oder auch bei Verkleinerung einen Faktors durch umso erheblichere Vergrösserung des anderen); so k für das zweite Objekt nur ein kleinerer Betrag von Gehirnkraft dis nibel bleiben: das Produkt b' vermindert sich also. Umgekehrt eine Verminderung des Produktes a' eine Vermehrung des Produk b' zur Folge.

Ist hiernach a' das grössere der beiden Produkte; so wird in d geistigen Urtheile, welches sich auf den Werth dieser Produkte stüt wenn a' sich vergrössert, nicht bloss in Folge der Vergrösserung d objektiven und subjektiven Werthes von A die Differenz zwischen und B vergrössert, sondern auch der subjektive Werth von B ve mindert: wenn dagegen a' sich vermindert, wird nicht bloss d Differenz zwischen A und B vermindert, sondern der subjekti Werth von B erhöht. Ebenso hat eine Vergrösserung von b' ei Verkleinerung der Differenz und des subjektiven Werthes von A, endli eine Verkleinerung von b' eine Vergrösserung der Differenz und des su jektiven Werthes von A zur Folge.

Allgemein, wenn von den beiden Objekten A und B da eine seinen objektiven Eindruck so ändert, dass die Diffe renz zwischen beiden sich im positiven oder negative Sinne ändert; so erleidet auch der subjektive Werth de anderen Objektes eine Änderung in dem Sinne dieser Än derung der Differenz, was zugleich eine Änderung im ent gegengesetzten Sinne der Änderung des ersten Objekte ist. Immer nimmt also der subjektive Werth des einen zu wenn der objektive und subjektive Werth des anderen ab nimmt, und umgekehrt.

Wenn es sich bei der Affektion durch die Objekte A und B nich bloss um absolute Grösse, Intensität oder Quantität des betreffenden Ner venprozesses, sondern auch um die Art oder Richtung desselben handelt so ist besonders der Fall wichtig, wo die von A und B hervorgerufenen Prozesse einander direkt entgegengesetzt sind. Entgegengesetzt nennen wir hier zwei Prozesse nicht bloss dann, wenn sie, wie eine positive und negative Bewegung, gleichartig, aber in der Richtung entgegengesetzt sind, sondern allgemeiner, wenn sie die Komponenten sind, in welche sich der neutrale oder normale Gleichgewichtszustand des in Rede stehenden Organs zerlegen lässt, wie es insbesondere bei den Nervenprozessen der Fall ist, welche zwei komplementäre Farben erzeugen (§. 20 No. 4 und §. 65).

Aus den vorstehenden Gründen ist klar, dass die Erhöhung des Prozesses von einer gewissen Art oder Richtung in bestimmten Fasern des Sehnerven eine Erhöhung des entgegengesetzten Prozesses in den übrigen Fasern erzeugen muss, dass also von zwei entgegengesetzten oder heterogenen Objekten A und B das eine den Grad des durch das andere hervorgerufenen entgegengesetzten Prozesses steigert, also den entgegengesetzten subjektiven Werth des letzteren erhöht, resp. denselben hervorruft.

In allem Diesen erkennen wir den materiellen Träger der subektiven Kontrasterscheinungen.

7. Kontrast der ungleichnamigen Eigenschaften. Konkurrenz. m Kontraste äussert sich der Anspruch, welchen zwei besondere Obkte an dieselbe Kraft machen, also ein Kampf um dasselbe Gut; igentlicher Kontrast findet daher nur zwischen gleichnamigen igenschaften verschiedener Objekte, z. B. zwischen deren ntfernungen oder Grössen oder Lichtstärken oder Farben statt, und derlbe affizirt direkt immer einunddenselben Hauptprozess des Auges, so die Akkommodationsthätigkeit oder das Urtheil über das Verhältniss er Seitenkomponente des Strahlenbündels zu der axialen Komponente, orauf die Verstellung der Entfernung beruht, oder die Schätzung der enge der in dem Lichtbilde liegenden Nervenfasern (des Sehwinkels, er Grösse) oder die Intensität des Nervenprozesses im Sehnerven oder e Qualität dieses Prozesses.

Da nun aber vermöge der Induktion (§. 32) jeder einzelne eser Hauptprozesse alle übrigen beeinflusst; so wird indirekt eine de Eigenschaft des Objektes A auf alle übrigen Eigenschafn des Objektes B nach dem Kontrastgesetze durch Vermittng des Induktionsgesetzes einen Einfluss ausüben.

Vermöge der Induktion kontrastirt also die Entfernung des ebenobjektes B nicht bloss mit der Entfernung, sondern auch mit der össe, der Lichtstärke und der Farbe des Hauptobjektes A. Ebenso konastirt die Grösse, die Lichtstärke und die Farbe des Nebenobjektes B it allen Eigenschaften des Objektes A. Der scheinbare Werth irgend ner Eigenschaft des Hauptobjektes A unter der Kontrastwirkung eines benobjektes B ist daher das Resultat der gleichzeitigen Kontrastwirng zwischen allen Eigenschaften der beiden Objekte A und B. Es uchtet übrigens ein, dass in der Regel die direkte Kontrastwirkung ischen den betreffenden gleichnamigen Eigenschaften die bei weitem erwiegende von allen übrigen indirekten Kontrastwirkungen in Behung auf diese Eigenschaft ist.

Um den allgemeinen Kontrast zwischen zwei Objekten A und B Beziehung auf eine gewisse Eigenschaft, z. B. auf die Entfernung zu stimmen, braucht man übrigens nicht nothwendig den vorstehenden ng in der Weise einzuschlagen, dass man erst die Wirkung der Entrnung, dann die Wirkung der Grösse, dann die Wirkung der Lichtärke und endlich die Wirkung der Farbe des Nebenobjektes B auf Entfernung des Hauptobjektes A untersucht: man kann auch so rfahren, dass man mit einem Schlage die Wirkung der Entfernung Nebenobjektes B unter gleichzeitiger Berücksichtigung der össe, Lichtstärke und Farbe desselben auf die Entfernung Hauptobjektes A in Erwägung zieht.

Das letztere Verfahren hat den Vortheil der leichteren Übersichtkeit für sich: dasselbe führt sofort zu einem geschlossenen Resultate, hrend das erstere mehrere Partialresultate ergiebt, welche erst zu dem sammtresultate vereinigt werden müssen.

So erkennen wir sofort, dass der Kontrast eines näheren Objekt umso stärker sein wird, je grösser und je heller es ist. Im Übrig behalten wir uns die speziellere Ausführung des allgemeinen Kontras gesetzes auf §. 37 vor.

§. 35.

Nähere Ausführung des Induktionsgesetzes.

1. Vollkommenheit der Erkenntniss. Wir wiederholen nur e was schon mehrfach Ausgesprochenes und bereits in §. 16 No. 7 un §. 18 No. 7 Begründetes, wenn wir sagen, dass bei vollkommener Al kommodation und in einem idealen Auge selbst bei unvollkommene Akkommodation die Annäherung des Objektes unmittelbar an der Ve kleinerung des Konvergenzwinkels der Strahlen oder an der Verkle nerung der Seitenkomponente der Lichtwirkung dieses Kegels en pfunden wird und dass diese Empfindung zugleich der Grund ist, da sich in unserer Vorstellung die Bogengrösse, welche demselben Seh winkel angehört, in gleichem Maasse verkleinert. Das Urtheil über de Sehwinkel selbst wird hierdurch nicht geändert.

Die absolute Grösse oder der Sehwinkel des Objektes hat keine Einfluss auf diese Thätigkeit.

Die Lichtstärke und die Farbe wird durch besondere Wirkunge gemessen und bleibt von der Ortsveränderung des Objektes unberührt.

Hiernach erscheint uns ein Objekt von variabeler absoluter Grösse welches stets denselben Sehwinkel beibehält, in demselben Maasse, wi es uns näher rückt, verkleinert, oder mit anderen Worten, die Gröss $^1/_2 a$ erscheint uns aus der Entfernung $^1/_2 b$ halbso gross, als die Gröss a aus der Entfernung b. Da nun bei der Näherrückung eines Objektes sei Sehwinkel sich in demselben Maasse vergrössert; so erscheint die Gröss a aus der Entfernung $^1/_2 b$ gerade ebenso gross, wie aus der Entfernun b, oder einundasselbe Objekt erscheint uns stets in seiner absoluten Grösse wie nah oder fern es auch sei.

Ebenso erscheint uns in jeder beliebigen Entfernung jede Licht stärke und Farbe richtig oder in ihrem absoluten Werthe und ein unddasselbe Objekt erscheint uns aus jeder Entfernung gleich licht stark und von der nämlichen Farbe.

Auch erscheint uns jedes Objekt von beliebiger Grösse in seine richtigen Grösse und Entfernung, Lichtstärke und Farbe

Endlich erscheint uns jedes Objekt von beliebiger Lichtstärke un Farbe in seiner richtigen Helligkeit, Farbe, Grösse und Ent fernung.

2. Unvollkommenheit der Hauptorgane und Hauptthätigkei ten. Die Reinheit der Erkenntniss wird durch die Unvollkommenheit de Organismus, insbesondere durch die Unvollkommenheit der Akkomoda tion in folgender Weise getrübt.

Das Auge vermag nicht jede unbegrenzte Formveränderung anzuneh-
en und auch unter der Einwirkung des Lichtes nicht in den Zustand
llkommenster Unthätigkeit und Spannungslosigkeit herabzusinken. Bei
ar nahen Objekten erreicht daher die Augenaxe nicht die nöthige
inge, das Auge bleibt zu weit akkommodirt. Bei sehr grossen Seh-
iten dagegen bleibt die Augenaxe in Folge des Lichtreizes zu lang, das
ige also zu nahe akkommodirt.

In allen Fällen aber sind, wenn wir das Auge auf einen bestimmten
nkt des Raumes richten und möglichst genau akkommodiren, die von
rahlen aller übrigen Punkte entstehenden Zerstreuungskreise nicht
Stande, für diese Punkte eine richtige Akkommodationsthätig-
it herbeizufüren. Das Auge ist also gleichzeitig für die diessseit des
irten Punktes liegenden Objekte zu weit und für die jenseit liegenden
jekte zu nahe akkommodirt. Diese Unvollkommenheit der Akkommo-
tion beeinflusst die Genauigkeit der Erkenntniss: die näheren Objekte
scheinen uns gegen die entfernteren zu gross oder Objekte von gleicher
össe in demselben Gesichtsraume erscheinen uns umso grösser, je
her, und umso kleiner, je entfernter sie sind.

Die eben besprochene Unvollkommenheit entspringt hauptsächlich
s der unrichtigen Verlängerung oder Verkürzung der Augenaxe
sp. aus der äquivalenten unrichtigen Wölbung oder Dichtigkeit der
echenden Medien.

Eine gleiche Unvollkommenheit betrifft das Urtheil über den Seh-
inkel. Die Wölbungen und Dichtigkeiten der Linse und des Glaskör-
rs, sowie die Krümmungen der Netzhaut nehmen nicht für jede Grösse
s Sehwinkels das richtige Maass an, sodass der scheinbare Sehwinkel von
m wirklichen immer etwas abweicht. Die grossen Objeckte erscheinen
s demzufolge zu klein und die kleinen zu gross (§. 24 No. 23). Das
auptorgan für die Herstellung eines Netzhautbildes von richtiger
össe ist die Linse.

Eine fernere Unvollkommenheit beherrscht den eigentlichen Nerven-
ozess in den Fasern des Sehnerven sowohl in Beziehung auf seine In-
nsität, als auch in Beziehung auf seine Qualität oder seinen Che-
ismus. Hieraus entspringt eine unvollkommene Beurtheilung der
icht- oder Farbenstärke und des Farbentones.

Was zunächst die Intensität oder Lichtstärke betrifft; so er-
heinen uns sehr lichtstarke Objekte zu schwach und sehr schwache zu
ark (§. 26 No. 5). Es vermindert sich also scheinbar die wirkliche Ab-
ufung der Lichtstärken; dieselbe bleibt übrigens grösser, wenn
e verschiedenen Lichtstärken gleichzeitig wirken, als wenn sie
acheinander zur Wirkung kommen. Die scheinbare Lichtstärke wird
so theils durch die absolute Lichtstärke des Objektes, theils
urch die relativen Lichtstärken der gleichzeitig wirkenden Objekte
einflusst. Ausserdem hat der Akkommodationszutand des Auges,
so Entfernung und Grösse des Objektes, sowie auch die Farbe
influss darauf.

Was die Qualität oder Farbe betrifft; so ist der Eindruck am
llkommensten oder normalsten, wenn sich in der Farbe alle einfachen Ele-
ente in dem Mischungsverhältnisse des weissen Lichtes vereinigen.

Jede einfache Farbe wird weniger genau empfunden, und die Un-nauigkeit wächst mit der Annäherung an die Grenzfarben des Spe-trums Roth und Violet, welche die Grenzen der Farbenempfindung d-stellen. Ausserdem nehmen die brechenden Medien bei einfachen Strah- wegen ungenügender Dispersion des erregenden Lichtes nicht einen vo-kommenen Akkommodationszustand an und trüben dadurch den Farbe-eindruck (§. 27). Endlich aber verursacht die gleichzeitige Einwirku- anders gefärbter Nebenobjekte eine Störung des Nervenprozess- welche viel bedeutender ist, als die eben genannte. Die letzte Wirkun- welche wir als Kontrastwirkung noch näher kennen lernen werden, wesentlich durch die Entfernungs- und Intensitätsverhältnis- der einzelnen Objekte mit bedingt.

3. Unvollkommenheit der Hauptthätigkeiten, welche a- Induktion beruht. Die eben bezeichneten Unvollkommenheiten d- Akkommodation und der Hauptprozesse stützen sich auf die Unfähigke- der Hauptorgane des Auges, den optischen Eigenschaften gehörig zu fo-gen, wenn sich dieselben von dem mittleren Werthe (der mittlere- Sehweite, Grösse, Lichtstärke und Farbe) zu sehr nach oben oder unte- entfernen.

Zu diesen Unvollkommenheiten gesellen sich noch diejenigen, welch- aus der Abhängigkeit der Hauptorgane vermöge ihrer organische- Verbindung oder aus der induktorischen Beeinflussung de- Hauptthätigkeiten unter einander entspringen. Diese Unvollkom-menheiten sind mannichfaltig und in dem Früheren erörtert. Es gehöre- dahin unter Anderem folgende.

Wenn sich das Auge näher akkommodirt, krümmt sich die Lins- und die Netzhaut paraboloidischer und umgekehrt bewirkt di- paraboloidischere Krümmung der Linse und der Netzhaut indukto-risch eine Verlängerung der Augenaxe, also eine Akkommodation au- kleinere Entfernung.

Bei der Vergrösserung des Sehwinkels wölbt sich die Linse und die Netzhaut ellipsoidischer und umgekehrt entspricht eine ellipsoidi-schere Wölbung einer Akkommodation auf einen grösseren Sehwinkel.

Eine Verengung der Pupille, wie sie bei zunehmender Licht-stärke stattfindet, verlängert die Augenaxe, akkommodirt also das Auge näher und erzeugt vermöge des Ausschlusses der Randstrahlen scheinbare Verkleinerung, wogegen umgekehrt mit der Erweiterung der Pupille scheinbare Entfernung und Vergrösserung verbunden ist.

Ungenauigkeit der Akkommodation, mag dieselbe auf zu starker oder zu schwacher Akkommodation beruhen, verursacht wegen der Zer-streuung des Lichtbildes Schwächung der Lichtstärke. Umgekehrt führt eine zu grosse Schwächung der Lichtstärke ungenaue, insbesondere zu schwache Akkommodation herbei.

4. Abweichung der Erscheinung vom Normalzustande. Die Abweichungen der Erscheinung eines Objektes in Beziehung auf die vier Grundeigenschaften Entfernung, Grösse, Lichtstärke und Farbe von der Normalerscheinung, wie sie in einem durchaus voll-

mmenen Auge entstehen sollte, sind durch mehrere Umstände be-gt:

a. Durch den absoluten Werth der betreffenden Eigenschaft. Die rauf sich stützende Abweichung entspringt direkt aus der Unfähig-it des betreffenden Hauptorganes (Augapfel, Linse, Nerv resp. in Be-nung auf Axenlänge, Wölbung und Dichtigkeit, Intensität des Nerven-zesses, Qualität des Nervenprozesses) zur genauen Vollführung einer timmten Thätigkeit. Diese Unfähigkeit ist die eigentliche Unvoll-mmenheit der Hauptorgane.

b. Durch das Verhältniss, in welchem die vier Haupteigenschaf-: Entfernung, Grösse, Lichtstärke und Farbe, zueinander stehen. Die raus hervorgehende Abweichung ist bedingt durch den Einfluss, wel-n die vier Hauptthätigkeiten: Verlängerung des Auges, Wölbung Verdichtung der Linse, Thätigkeit des Sehnerven in Beziehung auf nsität des Prozesses, Thätigkeit desselben in Beziehung auf chemische lität dieses Prozesses, aufeinander ausüben. In diesem Einflusse seht die Wirkung der Induktion.

c. Durch den direkten Einfluss, welchen die Nebenobjekte den Akkommodationszustand und die Hauptthätigkeiten des es ausüben, also durch die Konkurrenz der Nebenobjekte.

d. Durch den Einfluss, welchen die Nebenobjekte dadurch ausüben, sie sich zu Vergleichsobjekten, zu Maasseinheiten für das ptobjekt aufdrängen oder durch die Fesselung der Aufmerksamkeit Hauptobjekte den Charakter als ausschliesslich fixirtes Hauptobjekt tig machen. Hierin besteht die Kontrastwirkung der Nebenobjekte.

Die unter *a* erwähnten Unvollkommenheiten der vier Haupt-tigkeiten haben wir bereits im Vorgehenden aufgezählt: ebenso n wir im Früheren die gegenseitige Beeinflussung der Hauptthätig-en oder die unter *b* erwähnten Induktionswirkungen hinläng-bezeichnet und einige davon im Vorstehenden in Erinnerung ge-ht. Es kömmt uns jetzt darauf an, die Effekte zu spezifiziren und sichtlich zusammenzustellen, welche aus dem Kampfe aller dieser und unter *c* und *d* genannten Ursachen entspringen. Zu diesem Ende sen wir jedoch folgende wesentliche Vorbemerkung machen.

Wenn von der Änderung einer Eigenschaft des Objektes die Rede versteht es sich von selbst, dass die übrigen als unverändert gedacht ten. Wenn also der Effekt einer näheren Entfernung besprochen , muss vorausgesetzt werden, dass Grösse, Lichtstärke und Farbe die-n bleiben. In Beziehung auf Lichtstärke und Farbe ist nun kein Miss-tändniss zu befürchten, wohl aber hinsichtlich der Grösse: denn in ehung auf diese Eigenschaft ist es durchaus nicht gleichgültig, ob man i die absolute Grösse oder den Sehwinkel des Objektes im e hat.

Man erkennt nun leicht, dass in alle den Fällen, wo die Voraussetzung dass die Ausdehnung des Objektes keine Veränderung des Effektes orbringen soll, die Hauptstrahlen ihre Neigung beibehalten, also Sehwinkel des Objektes oder das Netzhautbild unverändert blei-muss. Im Nachfolgenden wollen wir jedoch, um die Resultate unmit-

telbar auf die gewöhnlichen Erscheinungen anwenden zu können, den F betrachten, wo das Objekt, indem es seine Entfernung ändert, seine abs lute Grösse beibehält (also seinen Sehwinkel ändert), wofern nicht d Veränderung der Grösse ausdrücklich befürwortet wird.

5. Spezifikation des Induktionsgesetzes. Für die soeben au gesprochene Voraussetzung lässt sich das Induktionsgesetz in folge den vier Sätzen spezifiziren, welche ihre Begründung in unseren frühere Untersuchungen finden. In Beziehung auf die Ausdrucksweise bring wir in Erinnerung, dass sich nach §. 20 No. 2 die Bezeichnungen Lich stärke und Lichtschwäche auf die Intensität des Lichtes von d gegebenen Farbe bezieht, dass aber Helligkeit und Dunkelheit n einem besonderen Falle von Lichtstärke und Lichtschwäche, nämlich der jenigen entsprechen, wo die gegebene Farbe mehr oder weniger weiss resp. graues Licht enthält oder mit weniger oder mehr Schwarz g mischt ist. Blass im Gegensatz von farbenrein nennen wir eine Farb welche aus der reinen Farbe dadurch entsteht, dass sich ein Theil dies Farbe in die komplementäre verwandelt und dann mit einem fernere Antheile dieser Farbe zu Weiss (resp. Grau) verbindet, wodurch also da Verhältniss des weissen, resp. grauen Lichtes zu dem farbigen Lichte ve grössert wird, ohne dass sich die Gesammtstärke ändert.

a. Wenn sich das Objekt **nähert**, erscheint es näher, grö ser, lichtstärker (resp. heller) und farbenreiner: wenn es sic **entfernt**, erscheint es entfernter, kleiner, dunkler und licht schwächer (resp. dunkler) und blasser.

b. Wenn sich das Objekt **vergrössert**, erscheint es nähe grösser, lichtstärker (resp. heller) und farbenreiner: wenn e sich **verkleinert**, erscheint es entfernter, kleiner, lichtschwä cher (resp. dunkler) und blasser.

c. Wenn das Objekt **lichtstärker** (resp. heller) wird, er scheint es näher, grösser, lichtstärker (resp. heller) und far benreiner: wenn es **lichtschwächer** (resp. dunkler) wird, er scheint es entfernter, kleiner, lichtschwächer (resp. dunkler und blasser.

d. Wenn das Objekt **farbenreiner** wird, d. h. wenn der in de Farbe enthaltene Antheil der Komplementärfarbe mehr ver schwindet, erscheint es näher, grösser, lichtstärker (resp. hel ler) und farbenreiner: wenn es **blasser** wird, d. h. wenn sich ei Theil seiner Farbe in die Komplementärfarbe verwandelt, er scheint es entfernter, kleiner, lichtschwächer (resp. dunkle und blasser.

Diese vier Sätze kann man in dem einzigen zusammenfassen:

e. Wenn sich das Objekt **nähert** oder sich **vergrössert** oder **lichtstärker** (resp. heller) oder **farbenreiner** wird, erscheint es zu gleich **näher, grösser, lichtstärker** (resp. heller) und **farbenreiner**: wenn es sich dagegen **entfernt** oder sich **verkleinert** oder **licht schwächer** (resp. dunkler) oder **blasser** wird, erscheint es zugleich **entfernter, kleiner, lichtschwächer** (resp. dunkler) und **blasser**.

Selbstverständlich gilt dieses und die folgenden Gesetze immer nur innerhalb gewisser Grenzen für die Eigenschaften des Objektes und seine Umgebung. Abnorme Verhältnisse bilden immer Ausnahmen, welche besonders in Erwägung gezogen werden müssen.

6. Äquivalenz der optischen Eigenschaften. Hiernach besteht zwischen der physiologischen Wirkung, welche durch Annäherung, Vergrösserung, Lichtstärke (resp. Helligkeit) oder Farbenreinheit hervorgerufen wird, ein induktorischer Zusammenhang, sodass die eine Eigenschaft die andere hervorruft und wenn es nur auf gewisse allgemeinen optischen Effekte ankömmt, die andere vertreten kann. Demgemäss nennen wir diese Eigenschaften äquivalent. In demselben Verhältnisse zueinander stehen die entgegengesetzten Eigenschaften Entfernung, Verkleinerung, Lichtschwäche (resp. Dunkelheit) und Blässe; dieselben rufen sich induktorisch gegenseitig hervor und vertreten sich einander in Beziehung auf die in Rede stehenden allgemeinen Effekte, sind also äquivalent.

§. 36.

Nähere Ausführung des Konkurrenzgesetzes.

1. Spezifikation des Konkurrenzgesetzes. Die Wirkungen der Konkurrenz der Nebenobjekte sind in den Hauptsachen schon in §. 33 erörtert. Berücksichtigt man nun die im vorstehenden Paragraphen spezifizirten Induktionswirkungen oder die äquivalente Wirkung der sich vertretenden optischen Eigenschaften der Objekte; so ergeben sich folgende Sätze.

a. Ein Nebenobjekt, welches näher liegt, als das fixirte Hauptobjekt, bewirkt vermöge der Konkurrenz, dass alle Objekte des Gesichtsraumes näher erscheinen: ein entfernteres Objekt dagegen bewirkt, dass alle Objekte entfernter erscheinen.

b. Ein Nebenobjekt, welches einen grösseren Sehwinkel einnimmt, als das fixirte Hauptobjekt, bewirkt dass alle Objekte des Gesichtsraumes ihren Sehwinkel zu vergrössern scheinen: ein Nebenobjekt von kleinerem Sehwinkel bewirkt dagegen, dass alle Objekte des Gesichtsraumes ihren Sehwinkel zu verkleinern scheinen.

c. Ein Nebenobjekt, welches lichtstärker ist als das fixirte Hauptobjekt, lässt alle Objekte des Gesichtsraumes lichtstärker erscheinen: ein lichtschwächeres Objekt bewirkt dagegen, dass alle Objekte lichtschwächer erscheinen.

d. Ein Nebenobjekt von gewisser Farbe bewirkt, dass alle Objekte des Gesichtsraumes mit einem Anfluge dieser Farbe erscheinen: trägt dasselbe also die Farbe des fixirten Hauptobjektes; so lässt es dieses Hauptobjekt noch farbenreiner erscheinen: trägt es aber die Komplementärfarbe des Hauptobjektes; so lässt es das Hauptobjekt mit Komplementärfarbe gemischt, also blasser erscheinen.

Mit Rücksicht auf die zwischen den Hauptthätigkeiten des Auge stattfindende Induktion oder die Äquivalenz der optischen Haupteigenschaften der Objekte kann man diese vier Sätze über die Konkurren in dem folgenden vereinigen.

e. Ein Nebenobjekt, welches näher oder welches von grösserem Sehwinkel oder welches lichtstärker oder welches farbenreiner ist, als das fixirte Hauptobjekt, bewirkt, dass da Hauptobjekt zugleich näher, von grösserem Sehwinkel lichtstärker und farbenreiner erscheint: ein Nebenobjek dagegen, welches entfernter oder welches von kleinerem Sehwinkel oder welches lichtschwächer oder welches komplementär gefärbt ist, bewirkt, dass das Hauptobjekt zugleich entfernter, von kleinerem Sehwinkel, lichtschwächer und meh mit Komplementärfarbe gemischt, also blasser erscheint.

Diese Konkurrenzwirkung des Nebenobjektes beschränk sich aber nicht auf das Hauptobjekt; sie umfasst alle Objekte des Gesichtsraumes, also auch das Nebenobjekt selbst, indem alle Objekte die **Sehweite**, den **Sehwinkel**, die **Lichtstärke** und die **Farbe** in der Richtung ändern, nach welcher das Nebenobjekt in diesen Eigenschaften sich vom Hauptobjekte unterscheidet.

2. Mitwirkung der übrigen Thätigkeiten. Wir haben in Vorstehendem, soweit die Grösse der Objekte in Betracht kam, sorgfältig das Wort Grösse vermieden, weil es sich bei dieser Induktion zunächst nur um den Sehwinkel handelt. Die Grösse ist das Produkt aus dem Sehwinkel und der Bogenlänge: die Bogenlänge aber steht vermöge des Sehplanes in direktem Verhältnisse mit der Sehweite; ob also die scheinbare Grösse eines Objektes sich vermehrt oder vermindert, hängt nicht bloss von der scheinbaren Veränderung des Sehwinkels, sondern von dieser und zugleich von der scheinbaren Veränderung der Sehweite ab.

Das nähere Nebenobjekt bewirkt nun durch Konkurrenz Verkleinerung der Sehweite und demzufolge vermöge des Sehplanes auch Verkleinerung der Bogenlänge. Wenngleich nun dieser Effekt auf der Verlängerung der Augenaxe beruht und hiermit die in den vorstehenden Sätzen genannte Vergrösserung des Sehwinkels verbunden ist; so ist doch die nach dem Sehplane mit der Verkleinerung der Sehweite verbundene Verkleinerung der Bogenlänge überwiegend und demnach das Gesammtresultat der Einwirkung eines näheren Objektes in Beziehung auf die Grösse aller übrigen Objekte nicht Vergrösserung sondern Verkleinerung.

Was dagegen die Wirkung eines grösseren Nebenobjektes betrifft; so besteht dieselbe zwar auch direkt nur in der Vergrösserung des Sehwinkels und ruft wegen der hiermit verbundenen ellipsoidischeren Gestaltung der Linse und der Netzhaut sekundär eine Verlängerung der Augenaxe und demzufolge scheinbare Verkleinerung der Bogenlänge hervor: allein in diesem Falle prävalirt als primitive

Wirkung die Vergrösserung des Sehwinkels und das Gesammtresultat ist scheinbare Vergrösserung aller Objekte.

Es ist nur im Interesse der Deutlichkeit, dass wir diesen Konflikt zwischen Sehwinkel und Bogengrösse hier hervorheben. Obgleich das Gesammtresultat der Einwirkung eines näheren Nebenobjektes nicht scheinbare Vergrösserung, sondern Verkleinerung ist; so bleibt doch in dem obigen Satze unter Nr. 1, e. die unmittelbare Wirkung der Konkurrenz ausgesprochen. Der Konflikt der Bogengrösse ist eine auf den allgemeinen Gesetzen der Akkommodation und des Sehplatzes beruhende Wirkung, welche ebenso wie manche anderen Wirkungen für sich in Rechnung gestellt werden muss.

Im Allgemeinen gehören die Konkurrenzwirkungen nicht zu den starken: sie treten meistentheils gegen die Wirkungen der unvollkommenen Akkommodation und auch gegen die des Kontrastes in den Hintergrund. Wir heben jedoch, ehe wir die Kontrastwirkungen besprechen, nochmals hervor, dass die Konkurrenzwirkungen, da sie alle Objekte des ganzen Gesichtsraumes betreffen, nur den absoluten Standpunkt des Beschauers in diesem Raume, nicht aber das Verhältniss der Objekte zueinander verändern.

§. 37.

Nähere Ausführung des Kontrastgesetzes.

1. Spezifikation des Kontrastgesetzes. Das Kontrastgesetz, welches die gleichzeitige Wirkung zweier Objekte oder vielmehr die Beeinflussung des fixirten oder Hauptobjektes durch ein nicht fixirtes oder Nebenobjekt darstellt, führt unmittelbar zu folgenden vier Sätzen.

a. Das Hauptobjekt erscheint umso näher, je entfernter das Nebenobjekt ist, und um so entfernter, je näher Letzteres ist.

b. Das Hauptobjekt erscheint umso grösser, je kleiner das Nebenobjekt ist, und umso kleiner, je grösser Dieses ist.

c. Das Hauptobjekt erscheint umso lichtstärker (resp. heller) je schwächer (resp. dunkler) das Nebenobjekt ist, und um so schwächer (resp. dunkler), je stärker (resp. heller) dasselbe ist.

d. Das Hauptobjekt erscheint umso reiner in seiner Farbe, je blasser das Nebenobjekt ist, und umso blasser, je reiner das Nebenobjekt die Farbe des Hauptobjektes trägt.

Da das Blasserwerden aus der Verwandlung eines Theiles der gegebenen Farbe in die Komplementärfarbe entsteht, welche sich dann mit einem entsprechenden Theile der übrig bleibenden Farbe zu Weiss verbindet; so ist Verblassung Annäherung an die Komplementärfarbe. Demnach können wir den letzten Satz auch so ausdrücken.

Das Hauptobjekt erscheint umso farbenreiner, je mehr das Nebenobjekt komplementär gefärbt ist, und umso mehr in der Komplementärfarbe, je reiner das Nebenobjekt die Farbe des Hauptobjektes trägt.

Diese Sätze haben sich übrigens theilweise schon aus den früheren Untersuchungen über die Akkommodation des Auges ergeben. Namentlich sind die auf die geometrischen Verhältnisse, auf Entfernung und Grösse bezüglichen beiden Sätze *a* und *b* direkt aus jenen Betrachtungen zu folgern. Wird nämlich das Auge durch ein Nebenobjekt genöthigt, einen Akkommodationszustand anzunehmen, welcher von dem dem Hauptobjekte entsprechenden abweicht; so entspricht dieser subjektiven Veränderung des Auges eine scheinbare Veränderung des Hauptobjektes in einem Sinne, welcher der Wirkung des Nebenobjektes direkt entgegengesetzt ist. Zieht sich z. B. durch ein näheres Nebenobjekt die Augenaxe länger, sodass das Bild des Hauptobjektes vor die Netzhaut fällt; so ist Diess scheinbar derselbe Effekt, wie wenn sich das Hauptobjekt entfernte. Oder wölbt sich wegen eines grösseren Nebenobjektes die Linse elliptischer oder nach dem Rande hin stärker; so tritt für das Hauptobjekt eine Aberration ein, welche dessen Netzhautbild vor die Netzhaut führt: da nun die Bilder der Objekte, welche für den Zustand der Linse zu gross sind, für welche also die Linse zu paraboloidisch ist, hinter die Netzhaut fallen, wogegen die Bilder der Objekte, welche für den Zustand der Linse zu klein sind, für welche die Linse also zu ellipsoidisch ist, vor die Netzhaut fallen; so entspricht jene Wirkung dem Falle, dass das Auge ungeändert, das Hauptobjekt aber kleiner wird.

2. Kontrast der ungleichnamigen Eigenschaften. Da die einzelnen Akkommodationsakte durch das Induktionsgesetz untereinander verbunden sind; so kontrastirt das Nebenobjekt mit dem Hauptobjekte nicht bloss vermöge der gleichnamigen, sondern auch indirekt vermöge der ungleichnamigen Eigenschaften. In §. 35 No. 6 haben wir die Eigenschaften kennen gelernt, welche in Beziehung auf die hier in Rede stehenden optischen Wirkungen einander vertreten oder äquivalent sind. Das Kontrastgesetz, in Verbindung mit dem Induktionsgesetze führt daher unmittelbar zu folgendem allgemeinen Satze.

e. Das **Hauptobjekt** erscheint gleichzeitig umso **näher, grösser, lichtstärker** (resp. heller) und **reiner**, je **entfernter** oder je **kleiner** oder je **lichtschwächer** (resp. dunkler) oder je **blasser** (resp. je mehr komplementär gefärbt) das **Nebenobjekt** ist, und umgekehrt erscheint das **Hauptobjekt** gleichzeitig umso **entfernter, kleiner, lichtschwächer** (resp. dunkler) und **blasser** (resp. umso mehr komplementär gefärbt), je **näher**, oder je **grösser**, oder je **lichtstärker** (resp. heller) oder je **reiner** in der Farbe des Hauptokjektes das **Nebenobjekt** ist.

3. Verbindung der Kontrastwirkungen mit den Konkurrenzwirkungen. Im gegenwärtigen Paragraphen haben wir die Veränderun-

n kennen gelernt, welche die gleichzeitige Erscheinung mehrerer Ob-
te in dem relativen Verhältnisse dieser Objekte zu einan-
r hervorbringt.

Neben diesen Wirkungen bestehen die in den vorhergehenden Pa-
raphen besprochenen Wirkungen, insbesondere die Konkurrenz-
rkungen des letzten Paragraphen, wodurch nicht das Verhältniss
Objekte zueinander geändert, also ihre Differenz vergrössert,
dern der absolute Werth aller Objekte des Gesichtsraumes
ichmässig geändert wird.

Man erkennt leicht, wie auch schon in §. 24 No 9 u. §. 25 No. 4 bemerkt
dass diese beiden Wirkungen einander nicht aufheben oder widersprechen,
dern dass dieselben unabhängig voneinander bestehen. Das Objekt A
n sich vermöge des Kontrastes von B entfernen und gleichwohl kön-
beide vermöge der Konkurrenz sich dem Auge nähern oder auch ent-
nen. A kann sich gegen B vergrössern oder B sich gegen A verklei-
n und dabei können beide grösser oder auch kleiner werden. Die
htstärke von A kann sich gegen die von B vermehren oder vermin-
n, unbeschadet der gemeinschaftlichen Änderung Beider in Beziehung
die absolute Maasseinheit. Die Farben von A und B können sich im
ne der grösseren Gleichartigkeit oder auch im Sinne des Komplemen-
verhältnisses ändern, und dabei können sich beide mit irgend einer be-
igen Farbe mischen.

Es ist übrigens erklärlich, dass die Konkurrenzwirkungen, da
alle Objekte des Gesichtsraumes gleichmässig betreffen, weniger ins
e fallen, als die Kontrastwirkungen, welche die Ungleichheiten
Objekte erhöhen.

DIE

PHYSIOLOGISCHE OPTIK.

Druck und Papier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

DIE

PHYSIOLOGISCHE OPTIK.

EINE DARSTELLUNG

DER

GESETZE DES AUGES

UND DER

SINNESTHÄTIGKEITEN

ÜBERHAUPT.

VON

DR. HERMANN SCHEFFLER.

IN ZWEI THEILEN.

ZWEITER THEIL.

MIT 295 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,
SCHULBUCHHANDLUNG.
1865.

Inhalt.

Zweiter Theil.

§. 38.

Täuschungen über die Grösse und Entfernung, hervorgerufen durch die Konkurrenzwirkung der Nebenobjekte.

1. Scheinbare Verkleinerung und Annäherung durch freiwil-e Veranlassung. Machen wir jetzt einige Anwendungen der vor-henden Gesetze und befassen wir uns zunächst mit solchen Täuschun-n, welche aus der Konkurrenz der Nebenobjekte entspringen.

Durch die Konkurrenz eines Nebenobjektes wird der Akkommo-tionszustand des Auges verändert und dadurch das Urtheil über Erscheinung getrübt. Insbesondere hat Akkommodation auf kürzere tfernung scheinbare Annäherung und Verkleinerung, Akkommodation grössere Entfernung dagegen Hinwegrückung und Vergrösserung des jektes zur Folge.

Man kann das Auge in verschiedener Weise in den Zustand abnor-r Akkommodation versetzen. Zunächst nach §. 30 unter der Herrschaft freien Willens, indem man z. B. einen Gegenstand fixirt, welcher ıer oder entfernter liegt, als das betrachtete Hauptobjekt. Fixirt man einem oder mit beiden Augen die Kante des nahe vor das Gesicht altenen Fingers; so verkleinern sich zusehends alle Objekte, welche Gesichtsfeld füllen und ihre Entfernung scheint sich zu vermin-rn: alle Dimensionen des Gesichtsraumes kontrahiren sich.

Bei einiger Übung kann man diese künstliche Akkommodation des ges ohne jedes Nebenobjekt zu Stande bringen, indem man das Auge einen zwischen dem Hauptobjekte und unserem Gesichte liegenden ıkt zu akkommodiren sucht, wobei die Augen die Bewegung des Schie-s machen. Hierbei thut man wohl, ein Auge zu schliessen oder zu decken, weil sonst der Gesichtsraum sich in zwei Bilder trennt, welche Betrachtung stören, da die Objekte sich alsdann nicht bloss verdoppeln, dern auch bei den Bewegungen der Augenaxen hinundher schwanken. liesst oder verdeckt man dagegen ein Auge und benutzt nur das andere; hat man nicht bloss ein Gesichtsfeld, sondern auch ein ruhiges Bild, l bei der sich ändernden Akkommodation doch die Richtung der e des thätigen Auges ungeändert bleibt.

Diese scheinbare Annäherung und Verkleinerung aller Ob-te, welche sofort eintritt, wie man das Auge freiwillig auf einen nähe-Punkt akkommodirt, ist die Folge der Akkommodationsverän-

derung. Es spielt hierbei weder die Konkurrenz, noch der Kontra der Nebenobjekte eine Rolle. Die letzteren Wirkungen sind zwar ebe falls vorhanden: sie treten jedoch gegen jene unmittelbare Wirkung di Akkommodationsveränderung zurück, wenn diese Veränderung so bede tend ist, wie hier vorausgesetzt wird. Da jedoch die falsche Akkomm dation nur mittelbar die Grösse und Entfernung und zwar dadur beeinflusst, dass sie nach §. 16 No. 9 und §. 24 No. 5 bis 7 das Urthe nicht in aller Vollkommenheit zu Stande kommen lässt; so wird d durch falsche Akkommodation entstehende Grösse und Entfernung b weitem nicht den Grad der falschen Akkommodationsweite e reichen.

2. Verkleinerung durch ein nahes Nebenobjekt. Unwillkü lich akkommodirt sich nach dem Konkurrenzgesetze des §. 3 das auf ein Objekt gerichtete Auge zu nahe, sobald man demselb irgend einen Gegenstand erheblich nähert. Wenn man diesen Gege stand auch gar nicht fixirt, vielmehr ganz ausser Acht zu lassen streb so thun doch schon die von diesem Gegenstande ausgehenden Lich strahlen, indem sie auf der Netzhaut ein zerstreutes Bild erzeugen, d Wirkung, das Auge zu einer ihrem Ausgangspunkte mehr entsprechende Akkommodation zu nöthigen. Allerdings ist dieser Reiz nicht so star als wenn man den letzteren Gegenstand scharf fixirt: allein er ist sta genug, um die Veränderung der Akkommodation fühlbar zu machen. D Auge akkommodirt sich in Beziehung auf das entferntere Objekt zu na und demzufolge verkleinert sich dieses Objekt. Dieses ist die Wirkun der Konkurrenz eines nahen Objektes. Primitiv und direkt wi durch diese Konkurrenz Akkommodation auf kürzere Sehweite, al scheinbare Annäherung hervorgerufen. Induktorisch erzeugt dan diese Akkommodation auf kürzere Entfernung nach §. 36 No. 1, Satz eine Vergrösserung des scheinbaren Sehwinkels, gleichzeiti aber auch nach §. 24 No. 17 Verkleinerung der Bogenläng Von den letzten beiden Effekten überwiegt fast immer, namentlich bei de Konkurrenz eines sehr nahen Objektes der letztere, sodass das Gesamm resultat in Beziehung auf scheinbare Grösse des Objektes Verkleine rung ist.

3. Verkleinernde Wirkung eines feinen Loches. Die Konku renzwirkung eines dem Auge nahe gebrachten Gegenstandes wird ums energischer, je näher derselbe dem Auge und der Sehaxe gebracht wir und je heller derselbe ist. Besonders stark wird die Wirkung, wenn de Gegenstand ein kleines Loch in einer Wand und noch mehr, wen derselbe die feine Öffnung einer Röhre darstellt, weil alsdann di Sehaxe rings herum und eng umschlossen ist und möglichst viel sehr nahe liegende Punkte von dem durchbohrten Körper ihre Strahle auf die Netzhaut werfen und dieselbe zu einer Akkommodation auf zu ge ringe Entfernung nöthigen, was jetzt umso besser gelingt, als die durch lochte Wand zugleich die dahinter liegenden entfernteren Objekte ver deckt.

Durch das Loch eines Nadelstiches in einem Blatte Papier gesehen

scheinen alle entfernten Gegenstände stark verkleinert. Nahe egenstände, z. B. die Lettern eines Buches aus 6 Zoll Entfernung, er-heinen allerdings durch ein solches Loch vergrössert; allein Diess t einen besonderen Grund, welchen wir sogleich in No. 6 erörtern rden.

Ebenso erscheinen die entfernten Gegenstände, welche man durch ein n Lampenruss geschwärztes Glas, also durch die zwischen den Russ-rnern verbleibenden feinen Öffnungen betrachtet, verkleinert. Diese rkung ist jedoch schwächer, als beim Blicke durch ein recht feines ch in undurchsichtiger Wand, weil jetzt keine so vollkommene Absper-ng des entfernteren Gesichtsraumes stattfindet.

Die Verkleinerung beim Blicke durch eine feine Öffnung wird da-rch ganz erheblich verstärkt, dass auf diese Weise nur der zentrale eil der Linse und des Glaskörpers in Anspruch genommen wird. Durch Bedeckung des Randes der Linse werden einmal die am stärksten errirenden und vor der Netzhaut konvergirenden Randstrahlen es jeden Strahlenbündels abgeschnitten, also das Auge zu einer stärke-n Verlängerung seiner Axe, mithin zur Verstärkung der Akkommoda-nsthätigkeit genöthigt, welche Verkleinerung zur Folge hat. Ausser-m werden die Axen der schrägen Strahlenbündel, d. h. die schrägen uptstrahlen von den Rändern der feinen Öffnung aufgefangen; rdurch wird die Nöthigung zur ellipsoidischen Krümmung der nse schwächer; dieselbe wölbt sich paraboloidischer; das Netz-utbild wird also ebenfalls kleiner (§. 24 No. 18, c und d).

Je weiter man das mit einem feinen Loche versehene Blatt vom Auge tfernt, indem man durch dieses Loch auf ein entferntes Hauptobjekt ckt, desto kleiner und näher erscheint letzteres: theils weil die nge der in das Auge gelangenden einfachen Strahlen jedes schrägen ahlenbündels immer geringer wird, theils weil in Folge dessen das ge sich umso sicherer auf die Entfernung des Loches, also zu nahe commodirt. Bei genügender Entfernung des feinen Loches scheint in That jedes noch so entfernte Objekt in der Entfernung des Blattes liegen.

Wenn man das durchlochte Blatt beseitigt und nun das Auge auf die nliche Entfernung, welche das Blatt einnahm, akkommodirt; so glaubt n zwar das Hauptobjekt nicht in dem Maasse verkleinert zu sehen, als der Anwendung des durchlochten Blattes: allein Diess ist im Wesent-nen ein Irrthum, welcher daraus entspringt, dass die jetzt in das freie ge eintretenden vollen Strahlenkegel (von der Basis der Pupille) auf Netzhaut grosse Zerstreuungskreise entwerfen, also das Objekt schwommen, mit aufgelösten, in Flächenstreifen verwan-ten Umrissen erscheinen lassen, während das feine Loch nur kleine rstreuungskreise, also ein scharfes Bild erzeugt.

4. **Vergrösserung durch ein entferntes Nebenobjekt.** Wenn Auge zu weit akkommodirt ist, erscheint das Objekt vergrössert. Es ist schwer, durch Akkommodation auf zu grosse Entfernung nhafte Effekte hervorzubringen. Denn schon bei mässiger Entfernung Objektes weicht die richtige Akkommodation von der auf unendlich

1*

grosse Entfernung berechneten Akkommodation nur wenig ab: bei se kleinen Entfernungen des Objektes tritt aber bald Undeutlichkeit e Diese kleinen, d. h. die unterhalb der normalen Sehweite liegenden En fernungen sind es hauptsächlich, in welchen das Objekt betrachtet werd muss, weil in diesen Entfernungen bereits eine Vergrösserung gegen d normale Grösse stattfindet (§. 24 No. 22), welche nun durch eine Akko modation auf eine grosse Entfernung noch gesteigert wird.

Hält man sich z. B. den Kopf eines Zirkels auf 2 Zoll Entfernu vor das Auge, indem man denselben scharf fixirt und so seine Grösse au zufassen sucht; so entsteht sofort eine Anschwellung oder Vergrösseru desselben, sobald man nun das Auge auf den fernen Horizont akko modirt.

Vor dem Auge des in Gedanken Versunkenen, welches st auf eine grosse Entfernung akkommodirt ist, erscheint eine vorb fliegende Mücke oft wie ein grosser Vogel.

Auf hohen Bergen, namentlich dem Brocken, hat man beim Au oder Untergange der Sonne, wenn auf der gegenüberliegenden Seite Wo ken und neblige Dünste lagern, zuweilen das Schauspiel des sogenannt Brockengespenstes, welches die Schatten der auf der Bergspitze st henden Personen in Riesengrösse auf jenem Nebel erscheinen läss In Wirklichkeit sind diese Schatten wegen des Parallelismus der Sonne strahlen nicht grösser als die entsprechenden Figuren; sie erscheine nur grösser, weil sich das Auge auf eine entferntere Wand akko modirt. Der durch die scheinbare Grösse der Sonne bedingten Diverge der Sonnenstrahlen kann man keine erhebliche Wirkung zuschreiben, d hieraus nur schwache Halbschatten entspringen können.

5. Scheinbare Grösse eines feinen Loches. Wenn man das Loc eines Nadelstiches in einem Kartenblatte aus der Entfernung des deut lichen Sehens betrachtet; so erscheint dasselbe klein. Nähert man nu das Blatt dem Auge, indem man stets das Loch selbst fixirt, also da Auge stets auf die Entfernung des Kartenblattes akkommodirt; so ver grössert sich das Loch nach §. 24 nur wenig. Sucht man jedoch bei de Annäherung des Blattes durch das Loch hindurch auf die entfernten Ge genstände der Natur zu blicken, was umso besser gelingt, je näher da Blatt dem Auge kömmt, akkommodirt man also das Auge immer besse auf eine zu grosse Entfernung; so vergrössert sich das Loch in erheb lichem Grade.

Durchbohrt man das Kartenblatt mit zwei sehr nahe aneinande gelegenen feinen Öffnungen; so rücken, indem man das Blatt dem Aug nähert und auf entfernte Gegenstände zu blicken sucht, di Peripherien der sich vergrössernden Kreise einander imme näher, schneiden endlich ineinander ein und scheinen zuletz ein einziges Loch zu bilden, wie es die untereinander ste henden Figuren (Fig. 227) darstellen. Übrigens kann man doch immer den Umriss jedes einzelnen Loches erkennen, wenn derselbe auch in die Fläche des anderen Loches fällt.

Fig. 227.

Bei der Vergrösserung des dem Auge sehr nahe ge haltenen feinen Loches in einem Kartenblatte spielen die

rstreuungskreise eine namhafte, ja meistens überwiegende Rolle, em sie zugleich bewirken, dass ein feines Loch nahezu ebenso gross cheint als ein anderes, wennauch sein Durchmesser nur ein kleiner eil vom Durchmesser des anderen ist. Wir haben diese Erscheinung eits in §. 31 No. 4, 5 und 6 besprochen und verweilen hier nur bei ijenigen Theile der Vergrösserung, welcher aus der unvollkommenen, ilich zu fernen Akkommodation des Auges entspringt (eine Unvollamenheit, welche die Zerstreuung, also auch den hieraus entspriniden anderen Theil der Vergrösserung, wovon soeben die Rede war, Folge hat).

In dem letzteren Falle handelt es sich also um die Grösse eines fei- Loches selbst, welches sich vergrössert, wenn man durch dase hindurch entferntere Gegenstände zu fixiren sucht, indem sich das ge zu weit akkommodirt. Weiter oben haben wir den Fall besproi, wo es sich um die Grösse nicht des Loches, sondern der durch das h fixirten Objekte handelte. Die letzteren erscheinen verkleinert, n sie hinreichend fern vom Auge liegen, indem sich das Auge wegen Kartenblattes, insbesondere wegen der Ränder des Loches zu nahe ommodirt. Wenn man das mit dem Loche versehene Blatt ganz dicht das Auge hält; so ist das Gesichtsfeld, welches der Blick durch das h übersieht, so gross als nur möglich und das Loch selbst erscheint i dem Vorstehenden so gross als nur möglich. Hieraus geht hervor, s der störende Einfluss des Loches unter diesen Umständen so n als möglich, dass also die Verkleinerung des entfernten Objektes so n als möglich ist. Indem man jetzt das Blatt vom Auge entfernt, aber ier den Blick durch das Loch hindurch auf das entfernte Objekt fixirt ilt, wird das Gesichtsfeld hinter dem Blatte und das Loch selbst immer ner, die vom Blatte selbst kommenden Strahlen prävaliren immer mehr, Blatt tritt immer mehr an die Stelle des eigentlichen Gesichtsfeldes, hinter dem Blatte liegenden Objekte können immer schwerer fixirt den; der störende Einfluss des Blattes nimmt also fortwährend das Auge akkommodirt sich demnach immer näher, zuletzt auf die he des Blattes selbst; die Verkleinerung der hinter dem tte liegenden Objekte wird daher immer bedeutender, veiter man das durchlochte Blatt vom Auge entfernt (wie n unter No. 3 erwähnt ist).

6. Vergrössernde Wirkung eines feinen Loches. Im Vorstehenden Objekte vorausgesetzt, deren Entfernung vom Auge die normale Sehe überschreitet. Ist die Entfernung kleiner als die normale Sehe; so erscheint bekanntlich (nach §. 24) das Objekt bei ungehinderter achtung vergrössert. Nimmt man das durchlochte Blatt zur Hand; ewirkt dasselbe nach Vorstehendem eine Verkleinerung, also eine minderung der durch die absolute Nähe des Objektes bedingten Verserung. Liegt nun das Objekt nahe genug am Auge; so überwiegt Vergrösserung diese Verkleinerung: denn in der That steigt ja die der Annäherung des Objektes ans Auge verbundene Vergrösserung iesslich auf eine sehr bedeutende Höhe; der Totaleffekt ist also Verisserung. Diese Vergrösserung ist zwar geringer, als die ohne An-

wendung des feinen Loches entstehende; allein durch dieses Loch erschei das vergrösserte Objekt, z. B. die Druckschrift eines Buches aus 2 Zo Entfernung, *viel deutlicher*, als bei freier Betrachtung, weil das Loc die schrägen Hauptbündel, welche die erheblichste Aberration und Un deutlichkeit erzeugen, auf eine geringe, durch den Zentraltheil des Aug gehende Menge von Strahlen beschränkt und dadurch den Gesammteffe der sphärischen Aberration auf ein Minimum bringt. Namentlich werd durch diese Beschränkung des Pupillenraumes die *Zerstreuungskreis* welche der Basis des Strahlenkegels nahezu proportional sind, auf se kleine Flächen reduzirt, welche etwa in dem *Verhältnisse des feine Loches zur Pupille* kleiner sind, als bei freiem Blicke auf das Objek Das feine Loch wirkt also durchaus nicht vergrössernd, sondern nur *ve deutlichend*. Diess geschieht auch dann, wenn man das feine Loc nicht vor die *Mitte*, sondern vor irgend eine andere Stelle der Pupil hält. Selbst eine *scharfe Kante*, an welcher man vorbei blickt, wir dadurch, dass sie wenigstens die eine Hälfte der Zerstreuungsbilder b seitigt, *verdeutlichend*.

Obgleich also das feine Loch eines Kartenblattes die Sehweite un auch den Sehwinkel verkürzt und dadurch stets *verkleinernd*, nic vergrössernd wirkt; so ist dasselbe doch *für ganz nahe Objekte* al *Mikroskop* zu gebrauchen, weil ès die in solcher Nähe auch ohne da Loch vergrössert erscheinenden Objekte mit einer mässigen Einbusse a Vergrösserung *deutlich erkennbar* macht.

Wir müssen noch der folgenden besonderen Wirkung eines feine Loches erwähnen. Wenn wir ein Objekt *ungehindert* anblicken un das Auge zu nahe oder zu weit akkommodiren, erscheint das Objekt ver möge der Zerstreuungsbilder verschwommen und undeutlich: das Aug wird also eben durch die Undeutlichkeit der Erscheinung veranlasst, sic so lange zu verändern, bis das Objekt scharf und deutlich erscheint. Wen wir dagegen das Objekt durch ein *feines Loch* anblicken, welche keine erhebliche Abweichung von Zerstreuungsbildern zulässt; so erschein das Objekt selbst bei der Akkommodation auf eine ganz falsche Entfer nung doch ziemlich scharf: *das Reizmittel zur richtigen Ak kommodation fehlt also* oder ist doch bedeutend geschwächt. Dem zufolge akkommodirt sich das Auge beim Blicke durch ein feines Loc unwillkürlich auf *sehr nahe* Objekte *zu weit* und auf *sehr entfernt zu nahe*, überhaupt nähert sich der Akkommodationszustand demjenige *mittleren* Zustande, welcher dem Auge bei der gegebenen Helligkei und Umgebung *am besten* konvenirt.

In dieser Wirkung des feinen Loches liegt eine wesentliche *Unter stützung* der vorher beschriebenen Erscheinung: sie erhöht die schein bare *Verkleinerung der sehr entfernten* und die scheinbare *Ver grösserung der sehr nahen* Objekte.

Schliesslich machen wir darauf aufmerksam, dass ein Objekt bei der Betrachtung durch ein feines Loch viel *lichtstärker* erscheint, ob gleich dasselbe doch weniger Licht ins Auge sendet, als bei freiem Blicke. Diess erklärt sich daraus, dass die bei freiem Blicke entstehenden viel grösseren Zerstreuungskreise, wenngleich sie eine grössere Lichtmenge repräsentiren, doch eben wegen der *Zerstreuung* eine den Lichteindruck

irende, also schwächende Wirkung hervorbringen, indem sie verlan-n, dass dieselbe Nervenfaser sich an der Erkenntniss unendlich vieler rschiedenen Strahlenbündel, welche übereinander fallen, betheiligen soll.

7. Wirkung der falschen Akkommodation mittelst eines rnrohres. Die fehlerhafte Akkommodation und ihr Effekt lässt sich :h leicht durch Zuhülfenahme eines Fernrohres oder Theaterperspektives stellen.

Beim Blicke durch das Fernrohr stellt sich dem Auge ein näher gendes scheinbares Objekt dar. Das bewaffnete Auge akkommodirt h also beim Blicke auf denselben Gegenstand näher als das unbewaff-ie. Blickt man nun mit dem einen Auge durch das Fernrohr auf ein stimmtes Objekt, sucht aber gleichzeitig dasselbe Objekt mit dem an-ren unbewaffneten Auge zu fixiren; so erhält man von diesem Ob-te zwei getrennte Bilder. Das Bild des bewaffneten Auges ist selbst-ständlich grösser als das des unbewaffneten: allein das letztere er-eint kleiner, als wenn man das Objekt mit beiden unbewaffneten gen betrachtet. Denn vermöge der Bewaffnung des ersten Auges wird ht bloss dieses, sondern induktorisch auch das andere Auge auf kür-re Entfernung akkommodirt.

Diese Beobachtung zeigt deutlich, wie sich ein Akkommoda-nszustand induktorisch von dem einen Auge auf das dere überträgt.

Dabei ist übrigens folgende Erscheinung nicht ohne Interesse. Bei Betrachtung desselben Objektes mittelst eines bewaffneten und eines bewaffneten Auges ist das bewaffnete viel stärker akkommodirt und in spruch genommen, als das unbewaffnete. Vor diesem Auge erscheint Bild deutlicher und kräftiger, und man empfindet das Bestreben dieses ges, zu prävaliren. Dieses Bestreben macht sich denn auch unver-eens in der Weise geltend, dass das Bild des unbewaffneten Auges itzlich ganz und gar verschwindet und nur nach augenblick-ner Schliessung des bewaffneten oder beider Augen oder nach einer ilichen Erschütterung wieder auftaucht. Im Wettstreit der Sehfelder 13) siegt also vorzugsweise das am stärksten beschäftigte Auge.

8. Zusammenwirkung aller Eigenschaften der Nebenobjekte i den Täuschungen über Grösse und Entfernung. In den vor-henden Nummern haben wir besonders diejenigen optischen Täuschun-ı über die Grösse und Entfernung eines Objektes betrachtet, welche ekt aus einer falschen Akkommodation auf der Entfernung durch Konkurrenz von Nebenobjekten entspringen. Vermöge der Äquivalenz optischen Eigenschaften tragen aber auch die übrigen Eigenschaften Nebenobjekte zu jenen Täuschungen bei. Insbesondere erklären sich aus folgende Erscheinungen.

Je heller das Nebenobjekt ist, welches uns näher liegt als das uptobjekt und vermöge seiner Konkurrenzwirkung die Entfernung d Grösse des Hauptobjektes verkleinert, desto energischer wird Wirkung desselben oder die Verkleinerung des Hauptobjektes aus-len (§. 33 No. 5), selbst wenn die grössere Helligkeit des Nebenobjektes

den Sehwinkel des Hauptobjektes etwas zu vergrössern trachte (§. 36 No. 1, e). Ein nahes Licht als Nebenobjekt äussert daher eine viel stärkere Konkurrenzwirkung, als ein nicht selbstleuchtender Körper.

Die Helligkeit des Nebenobjektes an sich bewirkt, selbst wenn dessen Entfernung nicht weiter in Betracht kömmt, schon eine stärkere Akkommodation und dadurch scheinbare Verkleinerung, welche allerdings durch die scheinbare Vergrösserung des Sehwinkels theilweise ausgeglichen wird. Wenn diese Helligkeit bedeutend genug ist und namentlich, wenn sie sich über einen recht grossen Theil der Netzhaut verbreitet, sodass sie die Gesammtthätigkeit des Auges wesentlich beherrschen kann, überwiegt ihre verkleinernde Wirkung nicht bloss die eben erwähnte, in der Vergrösserung des Sehwinkels liegende, sondern auch diejenige vergrössernde Wirkung, welche vielleicht durch die grössere Entfernung des Nebenobjektes hervorgebracht wird.

Ein Nebenobjekt der letzteren Art ist der das Hauptobjekt umgebende Gesichtsraum. Wenn wir uns bei hellem Sonnenscheine, wo also das Hauptobjekt hell erleuchtet ist, an einem schattigen Orte, d. h. an einem Orte befinden, wo der grösste Theil des Gesichtsfeldes und des Gesammtnetzhautbildes nur schwach erleuchtet ist; so wird das Hauptobjekt in einer gewissen Grösse und Entfernung erscheinen. Treten wir nun aus dem Schatten in den von der Sonne ringsum erleuchteten Raum: so verwandelt sich der erwähnte grosse Theil des Gesichtsfeldes in ein ungleich helleres und sehr ausgedehntes, also die Akkommodationsthätigkeit des Auges stark erhöhendes Nebenobjekt, welches durch Konkurrenz den Akkommodationszustand des Auges so beeinflusst, dass das fixirte Hauptobjekt kleiner erscheint.

Aus dem nämlichen Grunde erscheint uns ein dunkler Thurmknopf in der hellen Luft kleiner, als aus derselben Entfernung am Boden liegend, und ein Luftballon scheint sich zu vergrössern, wenn er aus der Höhe, wo ein heller Himmel das Nebenobjekt ist, in die schwächer erleuchteten unteren Luftschichten herabsinkt. Diese Effekte werden noch durch die Irradiation (welche wir weiter unten kennen lernen werden) in der Art unterstützt, dass der hellere Hintergrund bei der höheren Stellung des Objektes das Letztere mehr beschränkt, als der dunklere Hintergrund bei der tieferen Stellung.

Bei nebligem Wetter und in der Dämmerung sinkt nicht bloss die Lichtstärke des Hauptobjektes, sondern des ganzen Gesichtsraumes herab. Hiermit ist häufig eine so erhebliche Depression der Akkommodationsthätigkeit verbunden, dass uns die Objekte vergrössert und entfernter erscheinen (wennauch Verdunklung des Hauptobjektes mit einer mässigen Verkleinerung des Sehwinkels verbunden ist).

§. 39.

Täuschungen über die Grösse und Entfernung, hervorgebracht durch die Kontrastwirkung der Nebenobjekte.

Die im vorhergehenden Paragraphen betrachteten Täuschungen beruhten vornehmlich auf der Konkurrenz der Nebenobjekte, betreffen also den

ıeinbaren absoluten Werth des Hauptobjektes und aller Nebenobjekte er des ganzen Gesichtsraumes. Wir wollen jetzt einiger Täuschun- ı über Grösse und Entfernung gedenken, welche auf dem Kontraste ·uhen, also das relative Verhältniss der im Gesichtsraume liegenden jekte untereinander betreffen (§. 37 No. 1 und 2).

Eine Flintenkugel erscheint zwischen Hagelkörnern als ein grosser rper, zwischen Kanonenkugeln dagegen als ein kleiner.

Ein Flussdampfer imponirt zwischen kleinen Kähnen durch seine össe, verschwindet aber als kleines Fahrzeug zwischen Seeschiffen.

In der freien Natur bieten sich unserem Blicke in der Regel sehr osse Dimensionen dar. Die kleineren erscheinen alsdann umso kleiner.

Der Architekt wundert sich häufig über die scheinbare Kleinheit der kale eines Gebäudes, welches in den Grundmauern vor ihm liegt, wo o die grossen Dimensionen des Bauplatzes sich als Vergleichsobjekte bieten. Wenn die Seitenwände sich erheben und wenn Menschen und beln die Lokale füllen, dehnen sich jene klein erschienenen Räume zu ssen Sälen aus.

Eine Bildsäule erscheint umso kleiner, je grösser und näher die Bau- ke sind, welche im Hintergrunde stehen. Um ein isolirtes Werk dieser gross und ansehnlich erscheinen zu lassen, muss daher ein möglichst äumiger freier Platz mit verhältnissmässig kleinen und entfernten Bau- ken im Hintergrunde gewählt werden. Dasselbe verliert an schein- er Grösse sowohl dadurch, dass die Objekte der Umgebung ver- össert werden, als auch dadurch, dass sie näher gerückt werden.

Die Grösse und Beleibtheit eines Menschen wird gegenüber einem inen und schmächtigen Menschen umso auffallender.

§. 40.

Helligkeitskontraste.

1. Helligkeitskontraste zwischen einzelnen Objekten. Die htigsten Kontrastwirkungen betreffen die Lichtstärke und die Farbe. rachten wir zunächst die ersteren und besonders diejenigen, welche sich die Helligkeit oder die Stärke des weissen Sonnenlichtes beziehen.

Nach dem Kontrastgesetze erscheint ein Objekt umso heller, je dunk- das Nebenobjekt oder der übrige Gesichtsraum ist und umso dunkler, ıeller Letzterer ist.

Beobachten wir also den Schatten, welchen ein Licht von einem auf- ht stehenden Stifte auf eine weisse Papierfläche wirft; so erscheint der atten schwarz gegen die übrige Papierfläche. Rücken wir jetzt ein ites Licht herbei, welches nunmehr jenen Schattten ebenso stark er- chtet, wie vorher die übrige Papierfläche; so erscheint dennoch dieser atten, gegenüber der nunmehr doppelt so stark erleuchteten Fläche warz.

Jeder Maler und Zeichner weiss, dass die Licht- und Schattenwirkung es Gemäldes, besonders einer in Schwarz getuschten, lithographirten r gestochenen Zeichung wesentlich von dem Verhältnisse der

Schattenstufen unter sich abhängt und dass, sobald ein Schatten verstärkt wird, die benachbarten Schatten schwächer, die benachbarten Lichter dagegen greller erscheinen, sodass die Veränderungen der Helligkeit eines einzigen Elementes eine Veränderung aller Tonverhältnisse zur Folge hat.

Wenn ein sehr heller, lichtspendender Körper, eine Kugellampe, eine Flamme, in einiger Entfernung vor einer Wand steht; so erscheint uns, indem wir neben der Flamme vorbei auf die Wand blicken, diese Wand nahe um die Flamme herum ziemlich dunkel, wie im Schatten liegend. Dieser Schatten verliert sich mit zunehmender Entfernung von der Flamme, sodass Letztere von einem verwaschenen Schattenhofe umgeben erscheint. (Wenn die Helligkeit der Flamme übermässig wird, sodass die Funktionsfähigkeit des Auges überschritten wird oder starke Blendung eintritt, wie z. B. beim Blicke in die helle Sonne, erscheint selbstverständlich nach §. 26 No. 5 die Flamme zu dunkel gegen die Umgebung.)

Befindet sich umgekehrt vor einer stark beleuchteten Wand ein dunkler Schirm, welcher das beleuchtende Licht verdeckt; so erscheint die Wand rings um den Schirm sehr hell und in weiterer Entfernung immer weniger hell.

Der Schattenhof um die Projektion der Flamme auf der Wand, sowie der Lichtschein um die Projektion des dunkleren Körpers beruht im Wesentlichen auf Kontrast. Der dunkle Schatten, welcher sich um die helle Flamme bildet, zeigt übrigens noch die Eigenthümlichkeit, die hineinfallenden Gegenstände in Undeutlichkeit zu hüllen: man kann trotz aller Anstrengung Gegenstände, welche in den die Flamme streifenden Linien liegen, nicht deutlich erkennen, mögen diese Gegenstände vor oder hinter der Flamme liegen. Sowie man die Flamme mit der Hand verdeckt, tritt Deutlichkeit für diese Nebenobjekte ein.

Diese Erscheinung entspringt daraus, dass das Auge in den Richtungen der Hauptstrahlen, welche von der Flamme ausgehen, zu einer energischen Spannung und Thätigkeit genöthigt wird, welche auf der Grenze des Sehwinkels der Flamme plötzlich in eine schwache Thätigkeit übergehen soll. Wegen des organischen Zusammenhanges der Gewebe kann dieser schroffe Übergang nicht ohne abnorme Beeinflussung der Nachbarelemente vor sich gehen. Diese Beeinflussung äussert sich in der eben bezeichneten Undeutlichkeit der nahe um den Sehwinkel der Flamme herum liegenden Objekte. Ausserdem zeigt sich dieselbe darin, dass der erwähnte Schattensaum, welcher sich um die Flamme lagert und die in denselben fallenden Objekte undeutlich macht, bei genauerer Beobachtung flimmert oder das Aussehen eines Lichtscheines hat, welcher vor einen dunkelen Raum gespannt ist. Diess kann nur daher rühren, dass die starken Lichtreize, welche in dem Kegel der Flamme stattfinden, die benachbarten Elemente der Linse und des Glaskörpers, welche nur schwach gespannt sind, zum Zittern veranlassen.

2. **Abhängigkeit der scheinbaren Helligkeit von der Erleuchtung des Auges.** Wir müssen noch hervorheben, dass die scheinbare Helligkeit der uns umgebenden Objekte, welche eine ganz bestimmte absolute Lichtstärke besitzen, wesentlich beeinflusst wird durch die Erleuch-

ng, welche das Auge von irgend einer Lichtquelle empfängt. Diese ·leuchtung wirkt ebenso wie ein in das Gesichtsfeld eingeführtes helles ebenobjekt. Der Effekt beruht auf denselben Prinzipien, wie die ontrastwirkungen.

Wenn also das Auge stärker erleuchtet oder wenn ein hel- s Nebenobjekt in das Gesichtsfeld eingeführt wird, erschei- n alle übrigen Objekte, deren absolute Lichtstärke ganz eich bleibt, dunkeler: wenn dagegen das Auge schwächer er- uchtet oder ein helles Nebenobjekt aus dem Gesichtsfelde tfernt wird, erscheinen alle übrigen Objekte heller.

Damit die absolute Lichtstärke der Objekte also den richtigen Ein- uck mache, bedarf das Auge einer bestimmten Erleuchtung: es ist jenige, welche das indirekte oder von den umgebenden Gegenständen rückgeworfene Sonnenlicht, die gewönhliche Tageshelle, hervorbringt. i stärkerer Erleuchtung des Auges erscheinen die Objekte zu dunkel, i schwächerer zu hell. Die im ersten Falle entstehende zu grosse Ver- inklung beeinträchtigt die Deutlichkeit oder Schärfe des Sehens Beziehung auf Formen, Entfernungen, Farben u. s. w. ebenso sehr, wie r im zweiten Falle entstehende zu grosse Glanz der Objekte.

Aus diesen Wirkungen erklären sich eine grosse Menge täglicher Er- ieinungen.

Wenn wir das Auge durch den Blick durch die hohle Hand verdun- lln, erhöht sich die Helligkeit der Objekte. Bei bedeutender Verengung r Hand werden besonders die sehr nahen Objekte glänzend. Der in ie dunkele Kammer eindringende Lichtstrahl des gewöhnlichen Tages- htes erscheint dem darin befindlichen Auge stark leuchtend. Aus dem hoosse der Erde erscheint das Mundloch eines Stollens oder Schachtes bhaft leuchtend. Das indirekte Tageslicht, welches durch die Wetter- hre eines Bergbaues eindringt, spiegelt sich auf der Sohle eines Stollen- nges als glänzende Scheibe. Die von der Sonne beschienene Landschaft ginnt zu leuchten, wenn das Auge und der grösste Theil des Gesichts- des von Wolken beschattet wird. Der Mond, welcher nichts Anderes, eine von der Sonne beschienene Landschaft darstellt, erscheint uns in r Nacht glänzend, bei Tage aber als matte weisse Fläche.

Der Glanz, den die Nacht erzeugt, verscheucht der Tag, und eine in- isive Erleuchtung des Auges erzeugt vollständige Dunkelheit. Wenn r aus einem recht schattigen Orte in den hellen Sonnenschein treten, rmindert sich zusehends die Helligkeit der Objekte. Der rasche Über- ng aus einem dunklen Zimmer in das Tageslicht wirkt stark um- chtend.

Die Wirkung der erhöhten Erleuchtung des Auges oder der Einfüh- ng eines leuchtenden Nebenobjektes wird mehr oder weniger auch da- rch erzeugt, dass das gesammte Gesichtsfeld, welches das Auge zu erschauen vermag, d. h. die Gesammtheit aller sichtbaren Objekte, ie gleichmässig erhöhte Helligkeit annimmt. Obgleich alsdann jedes und auch das fixirte Hauptobjekt heller wird; so wird dieser positive fekt durch die kontrastirende Wirkung der Gesammtheit aller übrigen fekte überwogen. Ganz gewiss tritt diese Wirkung ein, wenn nicht bloss e deutlich markirten Objekte des Gesichtsfeldes, sondern alle darin lie-

genden, mithin auch die Luft ihre Helligkeit gleichmässig vermehren. Zweifelhaft kann aber das Resultat sein, wenn nur der erstere Theil der Objekte stärker erhellt wird.

3. Akkommodation bei erhöhtem Kontraste. Wenn durch den Kontrast eines dunkleren Nebenobjektes das Hauptobjekt heller erscheint, wird das Auge durch den erhöhten Lichtreiz des Hauptobjektes auch zu einer entsprechend genaueren Akkommodation auf dieses Objekt genöthigt. Dieses Objekt erscheint also dann auch schärfer oder deutlicher. Da jedoch zu einer normalen Akkommodation eine gewisse Gesammtmenge von Licht, ein gewisser Grad von Erleuchtung oder Gesammterregung des Auges nöthig ist und da auch zu schroffe Übergänge von Licht und Schatten, von Farbe, von Nähe und Ferne in den einzelnen Theilen des Gesichtsfeldes eine regelmässige Gestalt des Auges, also eine vollkommene Akkommodation desselben beeinträchtigen; so wird eine Steigerung des Kontrastes über eine gewisse Grenze auch eben dieselben abnormen Erscheinungen hervorbringen, welche mit solchen abrupten Übergängen verbunden sind. Insbesondere wird durch Verdunklung der Umgebung das Hauptobjekt, besonders wenn es klein ist, anfangen zu strahlen (§. 53).

§. 41.

Farbenkontraste.

1. Intenstitätskontraste. Soweit bei einer Kontrastwirkung nur die Intensität der Farbe in Betracht kömmt, ist der Effekt den im vorhergehenden Paragraphen besprochenen Helligkeitskontrasten ganz analog. Eine Farbe wird umso kräftiger, lebhafter, glänzender erscheinen, je matter die im Tone gleiche Farbe des Nebenobjektes ist.

Wenn man sich die aufeinander folgenden Qualitäten einunddesselben Farbestoffes, z. B. des künstlichen Ultramarins vorlegen lässt, indem man mit der untersten Nummer beginnt; so erscheinen die bereits aufgelegten Farben, von denen wir jede neue Qualität, solange sie nur neben den niedrigeren erschien, für sehr schön und feurig hielten, immer matter und unansehnlicher, je mehr höhere Qualitäten sich anreihen.

Übrigens ist der Kontrast zwischen zwei verschiedenen intensiven gleichartigen Farben nicht im strengsten Sinne ein blosser Intensitätskontrast. Die schwächere Farbe lässt vielmehr die stärkere nicht bloss intensiver, sondern auch dunkeler, tiefer oder gesättigter erscheinen, und umgekehrt lässt die stärkere Farbe die schwächere nicht bloss schwächer, sondern auch matter oder bleicher oder farbloser erscheinen. Es vereinigt sich also mit dem Intensitätskontraste ein Helligkeitskontrast.

2. Farbenkontraste. Beim eigentlichen Farbenkontraste ändert sich scheinbar die Farbe der Objekte und zwar erscheint nach §. 37 d, das Hauptobjekt umso farbenreiner, je mehr das Nebenobjekt kom-

ementär gefärbt ist und umso mehr in der Komplementärfarbe, reiner das Nebenobjekt die Farbe des Hauptobjektes trägt.

Beimischung von Komplementärfarbe, welche sich mit der gebenen Farbe zu Weiss verbindet, bewirkt auch Blasserwerden, wogen Ausscheidung von Komplementärfarbe die Reinheit der rbe erhöht. Demzufolge gilt auch nach §. 37, e. der Satz, dass das uptobjekt umso reiner in seiner Farbe erscheint, je blasser das Neuobjekt ist, und umso blasser, je reiner das Nebenobjekt die Farbe s Hauptobjektes trägt.

Die Komplementärfarben sind die wahren Kontrastfarben, mlich Farben, welche, weil sie sich zu weissem Lichte ergänzen, keine emente miteinander gemein haben. Zwei Komplementärfarben beneinander beeinträchtigen sich nicht, eben weil sie keine Elente miteinander gemein haben, sie bewirken also keine gegenseitige runreinigung oder Veränderung der Nuance, sie heben sich elmehr am meisten oder kontrastiren am schärfsten.

Betrachtet man nun zugleich, dass nach §. 20 das Komplement zu ier gegebenen Farbe diejenige Farbe ist, welche das Weiss von noraler Intensität ergiebt; so folgt daraus, dass das Komplement eine stimmte Intensität und Helligkeit hat. Dasjenige Grün also, lches mit einem gegebenen Roth am besten kontrastiren soll, muss eine n der Intensität dieses Roth abhängige Intensität und Helligkeit sitzen. Im Allgemeinen muss dasselbe umso heller sein, je dunkler das th ist und umgekehrt.

Ferner ersieht man hieraus, dass auch Weiss und Schwarz und erhaupt zwei verschiedene Grade von Grau Kontrastfarben sind, ss aber der vollkommenste Kontrast ein bestimmtes Verhältniss zwiıen diesen beiden Graden erfordert.

Übrigens muss ich hier die Bemerkung aus §. 20 No. 7 wiederho-, dass wir unter Komplementärfarben die physiologischen Komplentärfarben, also nicht die Farbstoffe oder Pigmente verstehen, welche h zu weissen oder grauen Pigmenten verbinden, sondern diejenigen Farn, deren Nervenprozesse, wenn sie miteinander verschmolzen wern, den Nervenprozess des weissen Lichtes erzeugen.

Wir werden den Unterschied zwischen den objektiven und den subtiven Komplementärfarben in §. 65 No. 24 und 25 spezieller nachisen. Für jetzt beschränken wir uns auf folgende thatsächlichen Berkungen.

Es ist komplementär zu	objektiv	subjektiv
Roth	Grün	Blaugrün
Grün	Roth	Violetroth (Purpur)
Violetroth (Purpur)	Gelbgrün	Grün
Blaugrün	Orangeroth (Zinnober)	Roth
Orangeroth	Blaugrün	Grünblau
Grünblau	Rothorange	Orangeroth.
Gelb	Violet	Indigblau
Violet	Gelb	Grüngelb
Grüngelb	Rothviolet	Violet
Blau	Orange	—
Indigblau	Gelborange	Gelb
Zyanblau (Himmelblau)	Dunkelorange	Orange
Orange	Blau	Zyanblau (Himmelblau)

3. **Unreine Kontraste.** Wenn sich nicht zwei Komplementärfarben gegenüberstehen; so ist der Konstrast immer unvollkommen oder unrein. Es kontrastiren alsdann die komplementären Bestandtheile der beiden Farben vermöge ihres Komplementär- und Intensitätsverhältnisses und ausserdem kontrastiren die gleichfarbigen Bestandtheile vermöge ihres Intensitätsverhältnisses. Mit beiden ist nach No. 1 und 2 zugleich ein Helligkeitskontrast verbunden. Aus diesen drei Wirkungen setzt sich der Gesammteffekt zusammen.

Dieser Effekt lässt sich in seinen generellen Beziehungen näherungsweise übersehen, wenn man beachtet, dass vermöge des Kontrastes jede Farbe des einen Objektes ihr Komplement in dem anderen Objekte hervorzurufen strebt und dieses Bestreben mehr oder weniger gut erfüllt, sodass sich also mit der Farbe des einen Objektes eine gewisse Quantität der Komplementärfarbe des anderen mischt. Hiermit ist nur noch die Wirkung der Helligkeitskontraste zu verbinden, welche auf einer Beimischung oder Hinwegnahme eines höheren oder niederen Grades von Grau beruht. Da das graue oder weisse Licht aber aus allen möglichen Elementarfarben besteht; so hat die letztere Operation in manchen Fällen einen Einfluss auf die Nuance der resultirenden Farbe.

Um also z. B. zu wissen, welche Kontrastwirkung ein Roth von mitllerer Intensität mit intensivem Weiss hervorbringt; so beachte man, dass das Roth ein mittleres Blaugrün im weissen Objekte erzeugt und dass das intensive Weiss ein tiefes Grau im rothen Objekte hervorruft. Demnach wird das rothe Objekt dunkelroth und das weisse Objekt blaugrünlichweiss erscheinen.

Dasselbe rothe Objekt gegenüber einem tief grauen wird hellroth erscheinen, wogegen das graue eine blaugrünlichgraue Färbung annimmt. Da das graue Objekt eine geringere Menge von Licht enthält, als das vorhin betrachtete weisse Objekt; so wird der Kontrast des rothen Objektes in dem graueren Objekte eine stärkere blaugrüne Färbung hervorbringen, als in dem weisseren. Ist aber das graue Objekt zu dunkel (nahezu schwarz); so wird die zu geringe Lichtstärke, welche

ieses Objekt selbst bei dem Kontraste besitzt, der Erscheinung ungünstig in. Ein gewisser Grad von Grau wird also, einem gegebenen oth gegenüber, die günstigste Kontrastwirkung zeigen oder n lebhaftesten grau erscheinen.

Ein stark rothes Objekt erzeugt in einem schwach rothen Objekte augrün, macht also das Letztere weisslich roth. Ebenso erzeugt das eite Objekt etwas Blaugrün im ersten, bewirkt also darin ebenfalls eine schung von Weiss und Roth, wobei jedoch das erste Objekt intensi-r bleibt und weniger mit Weiss gemischt wird, wogegen das eite schwächer bleibt und stärker mit Weiss gemischt wird. enn die Intensität des ersten Objektes sehr bedeutend wird, wächst Beimischung von Blaugrün, welche dasselbe im zweiten Objekte er-ugt, in dem Maasse, dass das zweite Objekt nicht mehr weisslich roth, ndern blaugrünlich weiss erscheint.

Ein rothes Objekt erweckt in einem zyanblauen (himmelblauen) ne Beimischung von Blaugrün, wogegen letzteres in ersterem Orange zeugt. Demzufolge wird das rothe Objekt gelblich roth, das blaue er grünlich blau erscheinen.

In §. 65 No. 26 werden wir die Effekte der unreinen Farbenkontraste ch näher feststellen.

4. Farbige Schatten. Im Vorstehenden liegt die Erklärung der kannten Erscheinung der farbigen Schatten.

Angenommen, eine weisse Fläche werde von rothem Lichte bestrahlt, wa indem die Sonne durch ein rothes Glas auf eine Papierfläche scheint. ellt man in diesen rothen Schein einen Körper, welcher Schatten wirft, o die weisse Fläche an einer gewissen Stelle von dem rothen Scheine freiet; so wird dieser Schatten durch den Kontrast der daneben liegen-n rothen Fläche grünlich erscheinen, besonders wenn er recht hmal ist, während bei einem sehr breiten Schatten die Kontrastwir-ng sich auf die Randpartie beschränkt.

Das Nämliche wird stattfinden, wenn die rothe Glasscheibe ein Loch t, durch welches das weisse Sonnenlicht direkt auf die Papierfläche fällt: r wird dieser weisse Fleck wegen seiner starken Intensität an weissem chte nicht so lebhaft grün erscheinen wie der obige Schatten.

Die Aufstellung zweier Lichter vor einem schmalen Körper und die vischenschiebung einer rothen Glastafel zwischen diesen Körper und das ne Licht liefert zwei Schatten, von welchen der eine von rothem und r andere von weissem (gelblichem oder röthlichem) Lichte bestrahlt rd. Der roth bestrahlte Schatten erscheint im Kontraste mit der um-genden von rothem Lichte beschienenen Fläche dunkel; der weiss be-ahlte Schatten dagegen erscheint im Kontraste mit dieser Fläche ünlich.

Eine schöne Kontrasterscheinung liefert der Gegensatz des Mond-d des Lampen- oder Gaslichtes. Befindet man sich vor einer hell-bigen Wandfläche, welche gleichzeitig vom Monde und von einer nahen sflamme beschienen wird; so ist der vom Monde geworfene und von r Gasflamme beschienene Schatten orange, der von der Gasflamme worfene und vom Monde beschienene Schatten dagegen grünlich

blau. Diess erläutert sich folgendermaassen. Das Mondlicht ist bla weiss, das Lampenlicht ist rothweiss: die von beiden Flammen beschiene Fläche erhält also rothblauweisses Licht, wovon die Komplementärfar gelbweiss ist. Der vom Monde geworfene und von der Gasflamme beschie nene Schatten ist also rothweiss, und da er sich mit dem gelbweissen Ko plemente der umliegenden Fläche mischt; so erscheint er rothgelb od orange. Der von der Gasflamme geworfene und vom Monde beschiene Schatten ist blauweiss und da er sich mit dem gelbweissen Komplement der umliegenden Fläche mischt; so erscheint er grünlichblau.

Der direkte Kontrast zwischem dem Mond- und dem Gaslichte tri auf, wenn man das Auge nahezu in eine gerade Linie mit diesen beid leuchtenden Körpern bringt. Der Mond erscheint alsdann bläulich un die Gasflamme röthlich.

Übrigens muss ich darauf aufmerksam machen, dass die Erscheinu gen, welche sich bei Beobachtungen im farbigen Lichte, also z. B. b Abend in dem gelben Lampenlichte ergeben, nicht lediglich Kontras erscheinungen sind, dass vielmehr das Auge durch die allseitige B strahlung mit fremdem Lichte eine besondere Disposition für die Fa benempfindung empfängt und dass alsdann auch die Farben der Netzhaut bilder nicht rein, sondern mit der Farbe des erleuchtenden Licht gemischt sind. In §. 68 werden wir auf diese Erscheinung näher ei gehen.

§. 42.

Licht- und Farbenperspektive.

1. Allgemeine Kontrastwirkung. Die Gesetze der Linearper spektive haben wir schon in §. 25 kennen gelernt und in No. 4 daselbs gesehen, welche wichtige Rolle der Kontrast in der Perspektive in Be ziehung auf die Entfernung spielt. Wir haben dort auch schon erörtert dass in dem ebenen perspektivischen Bilde manche Verhältnisse gegen di Wirklichkeit übertrieben werden müssen, um dem in der ebenen Fi gur liegenden Mangel mehr abzuhelfen und den stereoskopischen Ein druck zu erhöhen. So bewirkt die starke Verjüngung in dem perspek tivischen Bilde, in Folge deren der nähere Gegenstand viel grösser dar gestellt wird, als er unserem Auge in der Wirklichkeit erscheint dass uns das grössere Objekt näher erscheint als das kleinere von gleicher Form und Beschaffenheit. Die starke Vergrösserung der im Vor dergrunde liegenden Gegenstände im Kontraste gegen die kleiner darge stellten Gegenstände des Hintergrundes ruft also die Vorstellung der relativ geringeren Entfernung der ersteren hervor, obgleich auf dem perspektivischen Bilde beide gleich weit von unserem Auge liegen.

Diese Grössenkontraste, sowie die nachstehend zu besprechenden Licht- und Farbenkontraste sind die künstlichen Mittel, welche dazu dienen, das Auge zu einer entsprechenden Akkommodation oder wenigstens zu einer Tendenz dazu zu nöthigen, in Folge deren das Ur-

ıil über die Entfernung und Grösse der einzelnen Objekte des ınen Bildes sich so ändert, dass es der Wirklichkeit besser entspricht.

Mit Rücksicht auf diesen Zweck werden also die Kontraste im per-ktivischen Bilde die absoluten Werthe, welche sie in der Wirklichkeit ıen, immer überschreiten müssen.

2. Lichtperspektive. Was zunächst die Lichtkontraste in der spektive betrifft; so erscheint uns nach §. 37 No. 2 das Objekt ıso heller oder intensiver, je näher es ist, und umso dunkler r farbenmatter, je entfernter es ist. Hieraus folgt, dass die im ıhte liegenden Flächen von gleicher absoluter Helligkeit im ·dergrunde heller, im Hintergrunde dunkler dargestellt ıden müssen.

Hell und dunkel bezeichnet aber nur den Gegensatz für weisses ıht oder auch für die Beleuchtung durch das Tageslicht. Bei ıigen Objekten tritt hierfür der allgemeinere Gegensatz von licht-rk und lichtschwach oder von farbenkräftig und farben-ıt an die Stelle. Die Objekte des Hintergrundes müssen daher auch ıenmatter dargestellt werden.

Vermöge des Kontrastgesetzes erscheinen die Schatten umso dunkler, eller die erleuchteten Nebenobjekte sind. Weil nun nach Vorstehen-die erleuchteten Flächen im Vordergrunde am hellsten sind, so er-ınen die Schatten daselbst am dunkelsten. Demgemäss müssen er Perspektive die Schatten im Vordergrunde am stärksten, im ergrunde dagegen am schwächsten dargestellt werden.

Die Schattirung ist hiernach ein wesentlicher Hebel der Perspek- und da dieselbe den Mängeln der ebenen Darstellung abhelfen so muss dieselbe, um den richtigen Effekt hervorzubringen, stets die natürlichen Verhältnisse zwischen den in der Wirklichkeit vor-enen Graden von Licht und Schatten hinausgehen. Starke Schatten, gschatten und Lichtlinien sind daher, so sehr sie der Wirklichkeit sprechen, unvermeidliche Hülfsmittel des Malers.

Wie wesentlich die Schattirung das Auge unterstützt, um einen ıtlichen Akkommodationszustand anzunehmen, kann aus ınfachsten Figuren erkannt werden. Wir haben schon in §. 25 be-t, dass man in der Figur 228, jenachdem man das Auge zu nahe oder eit akkommodirt, eine Pyramide mit vor- oder zurückspringender e erkennen kann. Der Erfolg dieser Bemühung erhöht sich bedeutend durch Schattirung der Flächen nach Fig. 229.

Fig. 228.

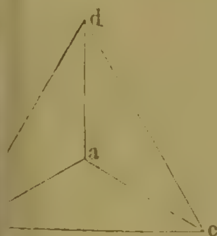
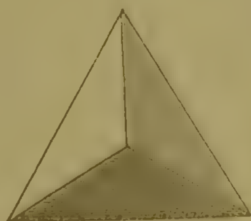


Fig. 229.



Über die grellen Lichtpunkte und Lichtlinien, sowie über starke Schlagschatten und Schattenlinien werden wir weiter unten in §. 57 No. 9 noch besondere Bemerkungen machen.

3. Farbenperspektive. Nicht minder wichtig wie die Licht-perspektive ist für kolorirte Zeichnungen die Farbenperspektiv Vermöge der Kontrastwirkung ertheilt jede Farbe dem ihr zunächst li genden Objekte umso mehr von ihrer Komplementärfarbe je kräftiger sie is also je näher sie dem Auge liegt.

Hiernach müssen die lebhaftesten Farbenkontraste, also d reinen Kontraste der Komplementärfarben im Vordergrund liegen. Bei mangelhaften Kontrasten verändern sich die Farben um mehr, je näher sie dem Auge liegen, weil sie hier umso kräftiger werde hierauf ist also bei der Malerei Rücksicht zu nehmen.

Enthält hiernach der Vordergrund wirkliche Kontrastfarben nebe einander, wie z. B. Roth und Grün, etwa ein rothes Dach in grüner Lan schaft; so können diese Farben möglichst rein oder der Wirklichkeit en sprechend dargestellt werden. Kontrastiren aber die natürlichen Farb der darzustellenden Objekte nicht vollkommen; so hat der Maler di scheinbare Änderung, welche diese Farben durch den Kontrast erle den, darzustellen. Das Grundprinzip hierbei besteht darin, dass sich d Objekt B, welches neben dem Objekte A liegt, mehr oder weniger mit d Komplementärfarbe von A mischt. Ich glaube, dass diese ganz a gemeine Regel dem Maler in manchen zweifelhaften Fällen eine siche Richtschnur geben kann.

Man muss beachten, dass es sich bei den physiologischen E fekten stets um die subjektiven, nicht um die objektiven Kom plemente handelt, dass aber dem Maler zur Ausführung dieser Effek nur Pigmente zu Gebote stehen, deren Mischungen nicht genau de Verbindungen der Farbenstrahlen folgen. Die Farbe also, welche si mit der Farbe des Objektes A vermöge des Kontrastes mit der Farbe verbinden soll, ist die subjektive Komplementärfarbe B' von B un das Resultat C der Verbindung der beiden Farben A und B' ist na dem physiologischen Gesetze, welches wir in §. 65 No. 24 näher en wickeln werden, zu beurtheilen. Der Maler aber, welcher die Farbe herstellen soll, hat die Pigmente nach dem Gesetze der Pigmen mischungen, welches wir in §. 65 No. 25 kennen lernen werden, z mischen.

Die Gesetze der Verbindung der subjektiven Nervenprozesse un der objektiven Farbenprozesse weichen zwar nicht übermässig vo einander ab, aber doch so sehr, dass ihre Eigenthümlichkeiten in der Ma lerei, wie überhaupt bei der Erklärung der Farbenerscheinungen berück sichtigt werden müssen. Bei den nachstehenden Beispielen ist daher imme der Vorbehalt der genaueren Korrektion im Sinne der physiologische Farbenverbindungen zu machen.

Hiernach kann z. B. kein weisses Haus im grünen Parke rein weis sondern nur röthlich erscheinen. Der blaue Himmel über einer saft grünen Landschaft wird violetlich und die grüne Wiese unter einem leb haft blauen Himmel mischt sich mit Rothgelb, wird also, indem sich dies Rothgelb mit einem Theile des Blau der grünen Farbe zu Weiss verbinde ein helleres (mit Weiss gemischtes) Grün, in welchem das Gelb stärk vorherrscht, als in der Natur. In der Schneelandschaft erscheinen di Farben der darin liegenden Objekte tiefer gefärbt, ein gelbes Haus e

heint dunkler gelb, ein röthliches Lampenlicht dunkler röthlich gelb. eisse Wolken erscheinen am blauen Himmel nicht weiss, sondern orange-eiss und lassen das Blau des Himmels tiefer erscheinen.

Dass mit der Kontrastwirkung zweier Farben nicht die Farben-sstrahlung zu verwechseln ist, welche ein farbiger Körper bei star-r Beleuchtung in dem reflektirten, diffundirten oder gebrochenen Lichte sübt, ist selbstverständlich. So färbt der grüne Wiederschein des von r Sonne stark beleuchteten Waldes solche Objekte, welche in die wirk-h grünen Strahlen kommen, grünlich; so werfen rothe Vorhänge einen hlichen Schein auf die Objekte u. dergl.

Je weiter im Hintergrunde, desto mehr ist die vorstehend genannte, der Kontrastwirkung beruhende Änderung der natürlichen Farben zu issigen. Berücksichtigt man hierbei die Veränderung, welche eine rbe in Folge der Veränderung der Akkommodation erleidet, wenn das jekt mehr oder weniger sich vom Auge entfernt; so liefert der vor-hende Satz eine Regel für die Abtönung der perspektivischen ächen.

Wenn kein Kontrast eines Nebenobjektes in Betracht kömmt; so cheint eine ebene Fläche, welche sich vom Auge des Beschauers ent-nt, vorn am kräftigsten in der Farbe und am hellsten, nach ten hin immer farbenmatter und dunkler. Bei jeder Darstellung mlicher Gegenstände kömmt aber mindestens der Kontrast von Licht d Schatten zur Wirkung: es ist also zwischen den im Lichte und den Schatten liegenden, d. h. zwischen den mehr und weniger stark erleuch-en Flächen zu unterscheiden. Für die ersteren, die im Lichte liegen-n Flächen, gilt der vorstehende Satz mit verstärkter Abstufung der tönung. Für die letzteren, die im Schatten liegenden, gilt dagegen Folge des Kontrastes der umgekehrte Satz: dieselben erscheinen vorn farbenschwächsten und dunkelsten und werden nach hinten hin benstärker und heller.

Ist ein andersfarbiges Nebenobjekt vorhanden; so färbt sich die ähnte Fläche mit der Komplementärfarbe dieses Nebenobjektes umso ar, je stärker die Kontrastwirkung ist, im Allgemeinen also im Vor-grunde mehr als im Hintergrunde. Bei der Abtönung dieser Fläche tet also im Vordergrunde die Komplementärfarbe des Nebenobjektes meisten ob: mit der Entfernung vom Auge schwächt sich dieser An-g immer mehr, was einer Entziehung von dieser Komplemen-farbe oder einem Zusatze von der Farbe des Nebenobjektes spricht. Der Farbenkontrast eines hellen Nebenobjektes wirkt auf e Fläche stärker, wenn sie im Schatten liegt, als wenn sie im Lichte t: die Schattenseiten der Objekte verfärben sich also durch Kontrast meisten. So werden z. B. bei orangerothem Abendhimmel vorzugs-se die Schatten blau.

Wechselt das kontrastirende, neben dem Hauptobjekte entlang lau-le Nebenobjekt mit der Entfernung seine Farbe; so verändert sich die bung des Hauptobjektes im komplementären Sinne. So erscheint 3. dieselbe weisse Fläche unter dem tief blauen Himmel des Vorder-ndes orangeröthlich, unter dem weisslichen Himmel des Hintergrundes

2*

grau, unter dem orangerothen Himmel des Horizontes bläulilch und am grünen See röthlich.

4. Auszeichnung des Hauptobjektes. In der Wirklichkeit, wo das Auge bald das eine, bald das andere Objekt des Gesichtsraumes fixirt, spielt jedes Objekt die Rolle eines Hauptobjektes gegenüber den anderen Objekten. Der Begriff von Haupt- und Nebenobjekt ist ein relativer, die Kontrastwirkung eine wechselseitige. Gleichwohl ist in dem Momente, wo wir ein bestimmtes Objekt fixiren, dieses Objekt nicht bloss Hauptobjekt dem Namen nach, sondern auch seiner Wirkung nach: wir erkennen dasselbe von allen anderen am schärfsten und farbenreinsten, und je mehr wir dasselbe fixiren, je vollkommener wir es sehen, desto schwächer wird die Akkommodation und Aufmerksamkeit für die übrigen Objekte, desto weniger deutlich und richtig erkennen wir sie, desto mehr leiden dieselben unter dem Kontraste des Hauptobjektes.

Hieraus folgt, dass wenn ein Bild den Zweck hat, die Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Objekt zu lenken, dasselbe mit allen Attributen eines Hauptobjektes ausgestattet und dass zugleich jedes andere Objekt als Nebenobjekt behandelt werden muss. Dieses erfordert eine Ausprägung der erwähnten Eigenschaften in einem Grade, welcher immer das in der Wirklichkeit bestehende Verhältniss übertrifft, weil es hierbei darauf ankömmt, die Nivellirung, welche alle Objekte vermöge der bildlichen Darstellung dadurch erlangen, dass sie sämmtlich in gleicher Entfernung und Beleuchtung dargestellt und ihrer Körperlichkeit beraubt sind, zu Gunsten eines einzelnen Objektes möglichst zu beseitigen.

Demgemäss ist die Hauptfigur eines Bildes vorzugsweise in scharfen Linien, mit deutlichen Details, mit kräftigen Licht- und Schattenpartien, Lichtlinien, Lichtpunkten und Schlagschatten, in lebhaften Farben und mit starken Farbenkontrasten zwischen ihren einzelnen Theilen darzustellen, wogegen die übrigen Gegenstände, je mehr sie den Charakter von Nebenfiguren tragen, desto mehr in verwaschenen Linien, mit verschwimmenden Details, schwachen Licht- und Farbenkontrasten und matten Farben zu halten sind, sodass die Letzteren sich überall nicht fixiren lassen oder doch trotz der Fixirung keinen deutlichen Eindruck erzeugen, also geradezu unfähig werden, die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen, mithin das Auge förmlich auf das Hauptobjekt hinweisen und nur beim Anblicke dieses Hauptobjektes die Wirkung äussern, welche in Wirklichkeit die nicht direkt fixirte und demnach auch niemals scharf erscheinende Umgebung hervorbringt.

§. 43.

Einfluss der Brechbarkeit des äusseren Mediums. — Erscheinungen in der Atmosphäre.

1. Verhalten des Auges in dünneren äusseren Medien. Die Brechbarkeit des äusseren Mediums, welches direkt die Hornhaut berührt, beeinflusst die Brennweite des Auges. Ein weniger brech-

res Medium, also dünnere Luft oder Wasserdunst verklei-
rn die Brennweite, nöthigen also das Auge zu Verkürzung seiner
e und lassen demgemäss das Objekt entfernter und grösser erschei-
. Ein brechbareres Medium, also dichtere und trocknere Luft
rgrössern die Brennweite, nöthigen das Auge zur Verlängerung
ner Axe, lassen also das Objekt näher und kleiner erscheinen.

Der Brechungskoeffizient der Luft (für den Übergang aus dem
en Raume) unterscheidet sich zwar nur wenig von der Einheit, er ist
ch 1,000294, und Diess bewirkt, dass die Veränderungen der Luft
die Grösse und Entfernung der ganz nahen Objekte nur einen un-
eutenden Einfluss äussern können. Bei entfernten Objekten kann
ch der Einfluss merkbarer werden: derselbe lässt sich durch folgende
erungsrechnung übersehen.

Wenn n der Brechungskoeffizient für den Übergang aus der Luft
mittlerer Beschaffenheit in das Auge, n' der Brechungskoeffizient für
Übergang aus der augenblicklich vorhandenen Luft in das Auge,
ie wirkliche augenblickliche Entfernung und a diejenige Entfernung
welche das Objekt bei mittlerer Beschaffenheit der Luft einnehmen
ste, um dieselbe Brennweite zu erzeugen; so hat man nach den Nä-
ngsformeln aus §. 8 No. 1

$$\frac{nr}{n-1-\frac{r}{a}} - R - r = \frac{n'r}{n'-1-\frac{r}{a'}}$$

$$a = \frac{a'}{\frac{n}{n'} + \left(\frac{n}{n'} - 1\right)\frac{a'}{r}}$$

Wenn ν, ν' den Brechungskoeffizienten für den Übergang aus dem
eren Raume resp. in die Luft von mittlerer und von augenblicklicher
naffenheit, folglich $\nu n = \nu' n'$ den Brechungskoeffizienten für den
gang aus dem luftleeren Raume ins Auge bezeichnet; so besteht die
hung

$$n' = \frac{\nu}{\nu'} n$$

n ist $\nu = 1{,}000294$, also

$$n' = \frac{1{,}000294}{\nu'} n$$

haupt besteht zwischen n und n' die Beziehung

$$\frac{n}{n'} = \frac{\nu'}{\nu}$$

hierdurch wird die vorstehende Formel

$$a = \frac{a'}{\frac{\nu'}{\nu} + \left(\frac{\nu'}{\nu} - 1\right)\frac{a'}{r}}$$

Diese Formel, welche die Entfernung a als Funktion von a' giebt, ist dadurch interessant, dass sie den Brechungskoeffizienten der Medien des Auges gar nicht enthält, sondern nur die Brechungskoeffizienten der äusseren Medien.

Nimmt man an, die äussere Luft werde durch einen luftleeren Raum ersetzt; so ist $\nu' = 1$, also $n' = 1{,}000294\,n$. Drückt man die Grössen a, a' und r in Metern aus, setzt also $r = 0{,}008$ Meter; so kömmt

$$a = \frac{1{,}000294\,a'}{1 - 0{,}037\,a'}$$

oder hinreichend genau

$$a = \frac{a'}{1 - 0{,}037\,a'}$$

Im luftleeren Raum müsste hiernach ein Objekt, welches in der Entfernung $a' = 1$, resp. 10 Meter liegt, ebenso weit erscheinen, als bei mittlerer Luftbeschaffenheit ein Objekt, welches in der Entfernung $a = 1{,}04$, resp. 16 Meter liegt. Ein 27 Meter entferntes Objekt müsste im luftleeren Raume unendlich weit erscheinen, insofern sich das Auge selbst in dem luftleeren Raume nicht änderte.

Da sich die Inkremente des Brechungskoeffizienten etwa so verhalten wie die Dichtigkeiten; so hat man für Luft von der halben Dichtigkeit der auf der Oberfläche der Erde gewöhnlich herrschenden, also für Luft, wie sie in Höhen von ungefähr 6000 Meter über dem Meere zu herrschen pflegt, etwa $\nu' = 1{,}000147$ also

$$n' = \frac{1{,}000294}{1{,}000147}\,n = 1{,}000147\,n$$

mithin

$$a = \frac{a'}{1 - 0{,}0185\,a'}$$

In einem so verdünnten Raume müsste ein Objekt von 54 Meter Entfernung ebenso wie im gewöhnlichen Luftraume ein unendlich entferntes Objekt von gleichem Sehwinkel erscheinen.

Hiernach müssten auf hohen Bergen alle Gegenstände bedeutend entfernt und vergrössert erscheinen. Wenn Diess in dem Maasse, wie die vorstehende Rechnung verlangt, nicht stattfindet; so kann der Grund hiervon nur darin liegen, dass sich mit der Verminderung des äusseren Druckes auch die Spannung und Dichtigkeit der brechenden Medien des Auges selbst, also auch der Brechungskoeffizient n vermindert. Hielte die Verminderung von n gleichen Schritt mit der Vermehrung von n'; so bliebe $n = n'$, also $a = a'$: die scheinbare Grösse und Entfernung würde sich also nicht ändern. In Wirklichkeit muss dieses Verhältniss nahezu stattfinden; im luftleeren Raume, wo sich n' vermöge der Verdünnung des äusseren Mediums auf $1{,}000294\,n$ erhöht, muss demnach die Dichtigkeit der Medien des Auges sich so viel verkleinern, dass ihr mittlerer Brechungskoeffizient von 1,55 auf $\frac{1{,}55}{1{,}000294} = 1{,}5495$ herabsinkt. Man sieht, es ist nur eine ge-

nge Änderung des Brechungskoeffizienten des Auges errderlich, um den Effekt der Luftveränderung auszueichen.

In Wirklichkeit wird diese Ausgleichung nahezu, aber doch nicht llständig stattfinden: die Gegenstände werden also auf hohen Bergen d bei niedrigem Barometerstande etwas entfernter und etwas össer erscheinen.

Dass die Verdünnung der Luft das Auge lebhaft affizirt, ergiebt sich den schmerzhaften Empfindungen und Blutungen, welche sich auf ho-n Bergen einstellen. •Es sind Diess die Begleiter der Ausdehnung des ges.

Über den Werth des Brechungskoeffizienten 1,000294 der atmoärischen Luft entscheidet die Dichtigkeit derselben: also nicht lellich ihre Spannung oder der Barometerstand, sondern zugleich e Wärme oder der Thermometerstand. Erwärmung bei gleichem rometerstande bewirkt Verdünnung, wie Verminderung der Spannung gleichem Thermometerstande. Die grössere Kälte der Luft auf ho-n Bergen hebt also einen gewissen, jedoch nur geringen Theil der durch Erhebung veranlassten Verdünnung der Luft auf.

Ausserdem erkennt man, dass Erwärmung der Luft bei gleichem rometerstande eine scheinbare Vergrösserung der Grösse und Sehweite Folge hat, dass uns also im Allgemeinen die Gegenstände im Somr grösser und entfernter erscheinen müssen, als im Win-. Da sich die Luft bei der Temperaturerhöhung um 1 Grad C. um den eil 0,00366 ihres Volums ausdehnt; so beträgt die Ausdehnung zwien 25 Grad Kälte und 25 Grad Wärme etwa den 6ten Theil des Vos. Hiernach würde, wenn 1,000294 der Brechungskoeffizient für lt von 25 Grad Kälte wäre, $\nu' = 1{,}000245$ der Brechungskoeffizient Luft von 25 Grad Wärme und $n' = \frac{1{,}000294}{1{,}000245} n = 1{,}000049\, n$ sein. ss gäbe

$$a = \frac{a'}{1 - 0{,}006\, a'}$$

l man sieht, dass ein Objekt, welches bei 25 Grad Kälte 166 Meter fernt erscheint, bei 25 Grad Wärme unendlich weit erscheinen würde.

Übrigens wird dieser Effekt dadurch wesentlich gemildert, dass der Erwärmung der Luft auch die Erwärmung des Auges steigt, che eine Verdünnung, mithin eine Verminderung der Brechbart der Medien des Auges zur Folge hat.

Es ist bis jetzt reine Luft vorausgesetzt. Mischt sich dieselbe mit sserdunst; so ändert sich ebenfalls der Brechungskoeffizient n: dere wird kleiner.

Aus den bisherigen Versuchen kann man zwar schliessen, dass sich Brechungskoeffizient des Wasserdunstes nicht erheblich von dem der t unterscheidet; allein die Grösse dieses Unterschiedes bei verschiedeen Spannungen ist nicht bestimmt genug ermittelt, um einer Rechg zur Grundlage zu dienen.

Es scheint übrigens, als ob die Feuchtigkeit der Luft auf alle

Organismen und so auch auf das Auge aufblähend wirkt, dass also mit der Zunahme des Wasserdunstes in der Luft der Brechungskoeffizient n der brechenden Medien des Auges sich vermindert, während er in trockener Luft durch Kontraktion des Auges sich vermehrt. Hierdurch würde der vorstehende Effekt der scheinbaren Vergrösserung und Entfernung erheblich vermindert und auf ein Minimum gebracht, oder wohl gar in sein Gegentheil verwandelt werden.

Aus Vorstehendem geht hervor, dass der Gesammteinfluss, welchen Spannung, Temperatur und Feuchtigkeit der Luft auf die Sehthätigkeit ausüben, durchaus nicht unbedeutend ist. Wir finden aber hierbei wiederum Gelegenheit, die Feinheit des Sehorgans zu bewundern, welches sich uns als ein optisches Instrument darstellt, welches sich vermöge seiner Elastizität sogar auf die Beschaffenheit des äusseren Mediums einrichtet.

2. Verhalten des Auges in dichteren äusseren Medien. Verdichtung der äusseren Luft, also stärkere Kompression oder Abkühlung, sowie auch Trocknung oder Befreiung derselben von Wasserdunst bringt die entgegengesetzte Wirkung wie Verdünnung, also scheinbare Annäherung und Verkleinerung hervor. Da bei dieser Veränderung des äusseren Mediums die brechenden Medien des Auges ebenfalls verdichtet werden; so ist der verkleinernde Effekt nur ein geringer. Die neueren Methoden der Gründung von Brückenpfeilern mit Austreibung des Wassers durch komprimirte Luft machen eine Arbeit und einen längeren Aufenthalt in Luft von 2 bis 3 Atmosphären Spannung nothwendig, geben also bequem Gelegenheit zur Beobachtung des erwähnten Effektes, der übrigens auch in Taucherglocken wahrzunehmen sein wird.

Wenn die äussere Luft durch Wasser ersetzt wird, dessen Brechungskoeffizient dem des Auges fast gleich kömmt; so muss das optische Bild weit hinter die Netzhaut fallen, es muss also eine namhafte scheinbare Annäherung und Verkleinerung stattfinden. Denn wenn das Wasser die Temperatur der Luft hat; so kann die Kontraktion, welche das Auge durch die Berührung des Wassers erleidet, und die daraus entspringende Vergrösserung des Brechungskoeffizienten des Auges nicht gross sein im Vergleich zu der bedeutenden Erhöhung, welche der Brechungskoeffizient des äusseren Mediums durch die Verwandlung in Wasser erfährt: ausserdem ist der Druck des Wassers dem atmosphärischen gleich, bewirkt also keine Verdichtung des Auges.

Von dieser Wirkung des Wassers kann man sich leicht mit Hülfe eines hohen Trinkglases, eines sogenannten Stangenglases überzeugen, auf dessen Boden ein Objekt gelegt und welches bis zum Rande mit Wasser gefüllt ist. Taucht man an der freien Oberfläche das Auge in das Wasser; so erscheint das Objekt näher, kleiner und zugleich undeutlicher. Die Undeutlichkeit entspringt daraus, dass das optische Bild soweit hinter die Netzhaut fällt, dass sich das Auge nicht genügend zu verlängern oder zu akkommodiren vermag. Versucht man nun das Auge auf einen näheren Punkt zu akkommodiren; so erscheint das Objekt immer deutlicher oder schärfer, als Beweis, dass sein optisches Bild wirklich hinter der Netzhaut liegt.

Das Nämliche lässt sich beim Baden beobachten, wenn man unter-
ichend die Glieder seines Körpers zu betrachten sucht. Das Sehen un-
Wasser ist wegen der erforderlichen Verlängerung des Auges an-
engend, und um deutlicher zu sehen, muss man das Auge stärker
er näher akkommodiren.

Je entfernter das Objekt ist, desto besser würde man dasselbe un-
Wasser sehen können, wenn mit der Entfernung nicht der Verlust
Licht zu sehr wüchse. Hierdurch wird der Lichteindruck schwä-
r, während gleichwohl die Schärfe desselben wächst.

Um die Wirkung des Wassers durch Zahlen auszudrücken; so hat
n $v' = 1{,}33$ also $\frac{v'}{v} = \frac{1{,}33}{1{,}000294} = 1{,}33$, folglich, wenn a, a' und r
Metern ausgedrückt werden, sodass $r = 0{,}008$ Meter ist,

$$a = \frac{a'}{1{,}33 + 41\,a'} = \frac{1}{\frac{1{,}33}{a'} + 41}$$

Wenn $a' = \infty$ ist, wird $a = \frac{1}{41}$ Meter $= 24$ Millimeter. Daraus
t, dass unter Wasser ein unendlich entferntes Objekt ebenso
utlich gesehen wird, wie in der Luft ein Objekt in 24 Millimeter
tfernung.

Es ist wichtig, dass der Brechungskoeffizient 1,33 des Wassers klei-
· ist, als die Brechungskoeffizienten der verschiedenen Theile der op-
hen Medien des Auges, welche zwischen 1,3366 und 1,399 liegen.
rdurch bleibt das Sehen und Erkennen unter Wasser doch im-
möglich, wenngleich dasselbe mit Undeutlichkeit verknüpft ist.
re der mittlere Brechungskoeffizient des Auges grösser als der des
ssers; so würde der Gesichtseindruck unter Wasser sich in einen ganz
eutlichen, verschwimmenden Schein oder Schimmer verwandeln.

Zum deutlichen Sehen auf kürzere Entfernungen im Wasser sind
ker brechbare oder stärker gewölbte Medien des Auges erforder-
, eine Bedingung, welche auch durch die Augen der Fische erfüllt
il.

3. Veränderung der scheinbaren Richtung des Objektes durch Ungleichförmigkeit des äussern Mediums. Wenn sich das äus-
Medium in gleichförmiger Beschaffenheit von unserm Auge bis nach
Objekte erstreckt; so kann dasselbe eine Ablenkung der schein-
en Richtung von der wirklichen offenbar nicht bewirken.

Solche Veränderungen werden nur durch die Verschiedenheit der
chbarkeit der einzelnen Schichten herbeigeführt, welche sich
Medium etwa durch ungleichförmige Erwärmung oder durch
ere Ursachen bildet.

Aus der Veränderung der scheinbaren Richtung entspringt z. B. die
tspiegelung oder Kimmung, eine scheinbare Erhebung von
dschaften, welche sich zuweilen mit Reflexion auf der Oberfläche
r Luftschicht vereinigt und alsdann gewöhnlich mit Umkehrung der
ikalen Stellung verbunden ist.

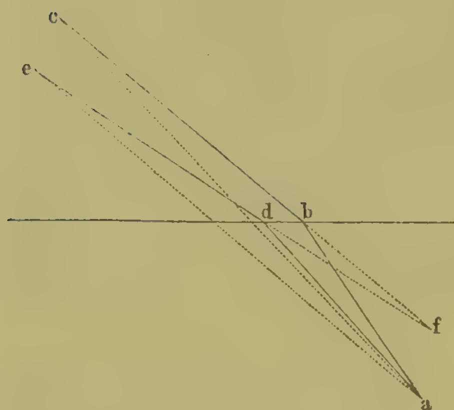
Der Übergang in ein anderes Medium ist ebenfalls eine Ursache solcher Ablenkung. Derselbe findet z. B. beim Blicke in das Wasser (von einem Standpunkte in der Luft) statt. Ein schräg ins Wasser gehaltener Stab scheint aufwärts gebrochen: das im Wasser sichtbare Stück erscheint flacher geneigt, als das in der Luft befindliche. Ein Fisch im Wasser scheint höher zu stehen, als er wirklich steht: der Jäger, welcher ihn schiessen will, muss tiefer zielen. Die Ursache dieser Erscheinungen ist, dass der Lichtstrahl beim Übergange aus Luft in Wasser sich abwärts bricht oder dass das im Wasser liegende Stück eines Lichtstrahles, mag derselbe von Luft in Wasser oder von Wasser in Luft übergehen, steiler steht, als das in der Luft liegende.

Auch das Aufhören des Mediums, wie beim Blicke in eine luftleere Glasglocke oder in den Himmelsraum ist von dem Effekte der Ablenkung begleitet, insbesondere entspringt daraus die atmosphärische Aberration oder die Ablenkung der Lichtstrahlen beim Durchgange durch die Atmosphäre, vermöge welcher alle Gestirne höher zu stehen scheinen, als sie wirklich stehen, sodass dieselben schon sichtbar sind, ehe sie im Horizonte stehen und nach dem wirklichen Untergange noch sichtbar bleiben.

Alle diese Erscheinungen gehören der reinen Physik an; sie sind vom Sehorgane unabhängig, wesshalb wir dieselben hier nur andeuten.

Um die scheinbare Richtung eines leuchtenden Punktes a (Fig. 230) für das bei c stehende Auge zu bestimmen, braucht man nach den gegebenen physikalischen und geometrischen Bedingungen des äusseren Mediums nur den Weg eines einfachen Strahles abc zu konstruiren, welcher von jenem Punkte auf den Pol des Auges führt. Die Richtung cb der letzten Strecke dieses Weges, mit welcher jener Strahl unmittelbar ins Auge tritt, bezeichnet die scheinbare Richtung des Punktes a. Hieraus erkennt man leicht, dass wenn der Punkt a im Wasser liegt, während das Auge c sich in der Luft befindet, der Lichtstrahl cba sich nach unten bricht, dass aber demzufolge der Punkt a dem Auge c nicht in der direkten Linie ca, sondern in der flacheren Linie cb, mithin höher erscheint.

Fig. 230.



4. Veränderung der scheinbaren Grösse und Entfernung durch die Ungleichförmigkeit des äussern Mediums. Die Ungleichförmigkeit des äusseren Mediums hat auch eine Veränderung der scheinbaren Grösse und Entfernung zur Folge. Vermöge der oben bezeichneten Brechung scheinen die Strahlen von Punkten des Raumes auszugehen, welche sich nicht bloss durch die Richtung der Seh-

ie, sondern auch durch die Sehweite von den wirklichen Eigenschaf- des Objektes unterscheiden. Die Konstruktion des scheinbaren jektes nach den gegebenen physikalischen und geometrischen Bedin- ıgen des äusseren Mediums ist jederzeit leicht und die Lage, Grösse d Entfernung dieses scheinbaren Objektes entspricht der ıeinbaren Lage, Grösse und Entfernung des wirklichen jektes.

Die Konstruktion des scheinbaren Objektes setzt sich aus der Kon- ıktion der scheinbaren Örter der einzelnen Punkte des Objektes zu- ımen. Um aber den scheinbaren Ort eines leuchtenden Punktes zu len, genügt es nicht, den Weg eines einfachen Lichtstrahles *abc* zu folgen, welcher von diesem Punkte in das Auge führt: hierdurch würde die scheinbare Richtung *cb* angedeutet sein, in welcher wir den nkt erblicken. Zur Konstruktion des Ortes *f* oder der scheinbaren chtung *cb* nebst Sehweite *cf* müssen zwei benachbarte Strah- *abc* und *ade* verfolgt werden, welche von dem leuchtenden Punkte gehen und divergirend die Pupille *ce* treffen. Eine rückwärts ge- htete Verlängerung der letzten Strecken *bc* und *de*, womit diese Strah- unmittelbar ins Auge treten, führt zu dem scheinbaren Orte *f* des nktes *a*.

Diese Konstruktion, angewandt auf mehrere Punkte des Objektes, bt also Zeugniss von der scheinbaren Grösse und Entfernung ses Objektes. So findet man z. B., dass ein im Wasser liegender Ge- ıstand dem in der Luft befindlichen Auge höher, näher und klei- r erscheint.

In den meisten Fällen bewirkt die Ungleichförmigkeit des äusseren diums auch, dass das scheinbare Objekt dem wirklichen nicht geo- trisch ähnlich bleibt, dass also eine scheinbare Formverände- ng oder Verzerrung eintritt.

5. Veränderung der scheinbaren Helligkeit und Farbe durch e Ungleichförmigkeit des äusseren Mediums. Die vorstehend be- ıriebene Konstruktion des scheinbaren Objektes *f* giebt zugleich Rechen- ıaft über die scheinbare Lichtstärke desselben.

Wenn *ce* die Öffnung der Pupille darstellt; so enthält das in das ıge dringende, von den Linien *bc* und *de* begrenzte Strahlenbündel die- nige Menge von Strahlen des Objektes, welche durch den Winkel *bad* messen wird. Dieselbe Strahlenmenge scheint nun von dem Punkte *f* szugehen und dem Winkel *bfd* anzugehören. Wäre das äussere Me- um gleichförmig; so würde die von *a* ins Auge dringende Strahlen- enge dem Winkel *cae* entsprechen. Es fragt sich nun, um wie viel der inkel *bad* grösser oder kleiner ist, als der Winkel *cae*, oder vielmehr welchem Verhältnisse die mit dem Radius 1 beschriebene Kugel- äche des Kegels *bad* zu der mit demselben Radius beschriebenen ıgelfläche des Kegels *cae* steht. In diesem Verhältnisse erscheint der ınkt *a* dem Auge *ce* in dem ungleichförmigen Medium lichtstärker ler lichtschwächer, als in dem gleichförmigen.

Liegt der Punkt *a* im Wasser oder in einem optisch dichteren Me-

dium mit der gezeichneten Oberfläche; so ist der Winkel *bad* kleiner als *cac*. Der leuchtende Punkt erscheint daher schwächer.

Wenn Luft durch lokale Erwärmung in Expansion und Bewegung gesetzt wird und in Folge dessen Luftmengen von verschiedener Dichtigkeit sich durcheinander bewegen, erkennt man den hierdurch bewirkten Wechsel der Lichtstärken der durch diese Luft gesehenen Objekte und der erleuchteten Luft selbst an den sich bildenden Licht- und Schattenwellen.

Bei diesem Effekte, welcher lediglich der Brechbarkeit zukömmt, ist selbstverständlich die Absorption nicht berücksichtigt, welche sich in einem ungleichförmigen Medium von Schicht zu Schicht ebenfalls ändert.

Schliesslich erkennt man, dass die Ungleichförmigkeit des äusseren Mediums eine Dispersion des Lichtes herbeiführt, welche die Objekte mit regenbogenfarbigen Säumen umgiebt. In der Luft ist die Dispersion zu unbedeutend, um unter gewöhnlichen Verhältnissen Farbenerscheinungen hervorzubringen (ein Beispiel von erkennbarer Wirkung werden wir übrigens bei der farbigen Gegendämmerung in §. 45 No. 7 besprechen). Beim Übergange zwischen Luft und Wasser entsteht eine bedeutendere Dispersion und bewirkt z. B., dass ein im Wasser vor uns liegendes Objekt an dem uns zugewandten Ende roth und an dem von uns abgewandten Ende violet erscheint.

Zu den interessantesten Dispersionserscheinungen in der Natur gehören die Regenbögen und farbigen Mondhöfe, welche bekanntlich durch die Brechung, Dispersion und Reflexion des Lichtes an den Wassertropfen und Wasserbläschen in der Luft gebildet werden.

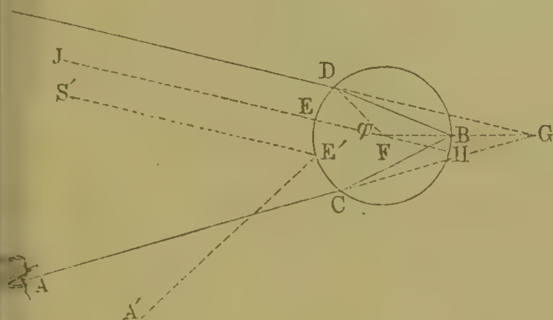
Sehr schöne farbige Höfe kann man sich leicht bei Mondschein erzeugen, wenn man gegen die Fensterscheibe haucht, durch welche der Mond blickt. Die Thauperlen auf dem Glase geben lebhaft gefärbte Höfe, deren Farbenfolge von der Form dieser Perlen abhängt, also sich bei fortgesetztem Anhauchen unaufhörlich ändert. Auch ein Kerzenlicht in einiger Entfernung hinter der Glasscheibe giebt solche Höfe: das Sonnenlicht jedoch ist so stark, dass die von ihm in den Thauperlen und im Glase erregte Diffusion, sowie die Gesammterleuchtung des Gesichtsraumes die Dispersionserscheinung nicht wahrnehmbar macht. Ich erlaube mir über Regenbögen und Höfe einige Bemerkungen hier einzuschalten.

Obgleich diese Phänomene vorzugsweise der Physik angehören; so halte ich es doch für nützlich, dieselben hier kurz zu berühren, weil sie in manchen Stücken bis jetzt gar nicht oder falsch erklärt sind.

6. Der Regenbogen. Alle diese Erscheinungen liefern eine Anwendung der in §. 8 No. 19 erwähnten Theorie der intensivsten Strahlen, d. h. derjenigen Strahlen, welche nach dem Durchgange durch das optische System am wenigsten divergiren. Unter allen von der Sonne *S* (Fig. 231) ausgehenden, in den Regentropfen *F* eintretenden, darin sich brechenden und spiegelnden und darauf in das Auge *A* gelangenden Strahlen wirken diejenigen am stärksten, werden also vorzugsweise empfunden, welche sich auf dem Wege *CA* am wenigsten ausbreiten oder die geringste Divergenz haben. Hierbei kommen die einzelnen

smatischen Farben jede für sich in Betracht, weil jede ihren besonderen chungskoeffizienten hat. Bezeichnet φ den Zentrumswinkel DFE und ψ den Winkel DBF; so hat man $\sin\varphi = n \sin\psi$, worin n den Brechungskoeffizienten darstellt. Der Neigungswinkel $SGA = \alpha$ der Strahlen SD und CA ist jetzt $\alpha = 2\,(2\,\psi - \varphi)$ und wenn man den Radius des Wassertropfens mit r und den Abstand des Sonnenstrahles SD vom Mittelpunkte F des Tropfens mit x bezeichnet; so ist

Fig. 231.



$= r \sin\varphi$. Substituirt man die Werthe $\sin\varphi = \frac{x}{r}$ und $\sin\psi = \frac{\sin\varphi}{n}$ $\frac{x}{n\,r}$ in die Gleichung $\alpha = 2\,(2\,\psi - \varphi)$ oder $\frac{\alpha}{2} = 2\,\psi - \varphi$ oder $\sin\frac{\alpha}{2}$ $\sin 2\,\psi \cos\varphi - \cos 2\,\psi \sin\varphi$; so erhält man $\frac{\alpha}{2}$ oder $\sin\frac{\alpha}{2}$ als Funkn von x.

Bei diesen und allen ähnlichen Systemen hat man nun zunächst zu gen, ob es benachbarte Strahlen giebt, welche **parallel unter sich** r **ohne alle Divergenz** austreten. Diese Strahlen werden in der gel von allen Maximalstrahlen die intensivsten sein. Beim Regenbo, wo die Richtung der einfallenden Strahlen SD konstant ist, würde zu untersuchen sein, ob der Ablenkungswinkel α ein Maximum oder nimum hat oder ob $\partial\alpha = 0$ sein kann. Zu dieser Untersuchung kann h §. 8 No. 19 jede beliebige Grösse als unabhängig Veränderliche gesehen werden. Nehmen wir daher φ zur unabhängig Veränderlichen; wäre die Bedingung für $\frac{\partial\alpha}{\partial\varphi} = 0$ zu ermitteln.

Nach den vorstehenden Gleichungen hat man

$$\frac{\partial\alpha}{\partial\varphi} = 2\left(2\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} - 1\right) = 0.$$

raus folgt $\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} = \frac{1}{2}$ und da die Differentiation der Gleichung $\sin\psi$ $\frac{\sin\varphi}{n}$ die Beziehung $\frac{\partial\varphi}{\partial\psi} = \frac{\cos\varphi}{n\cos\psi}$ liefert; so hat man zur Bestimng von φ und ψ die beiden Gleichungen

$$\frac{\cos\varphi}{\cos\psi} = \frac{n}{2} \qquad \frac{\sin\varphi}{\sin\psi} = n.$$

selben ergeben

$$\sin\varphi = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}} \qquad \sin\psi = \frac{1}{n}\sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$$

Für den Brechungskoeffizienten $n = 1{,}33$ der rothen Strahlen erhält man $\sin\varphi = 0{,}8624$, $\sin\psi = 0{,}6484$, also $\varphi = 59^0\,35'$, $\psi = 40^0\,25'$ mithin $\alpha = 42^0\,30'$.

Hieraus folgt, dass unter dem Ablenkungswinkel von $42^0\,30'$ die rothen Strahlen ohne Divergenz aus dem Wassertropfen treten.

Die zweite Frage betrifft das eigentliche Minimum der Divergenz oder des Winkels $\partial\alpha$, also die Bedingung $\partial^2\alpha = 0$. Die unabhängig Veränderliche ist x; es muss also $\frac{\partial^2\alpha}{\partial x^2} = 0$ sein. Nun hat man

$$\frac{\partial^2\alpha}{\partial x^2} = \frac{\partial^2\alpha}{\partial\varphi^2}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)^2 + \frac{\partial\alpha}{\partial\varphi}\cdot\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}$$

und da $\frac{\partial\alpha}{\partial\varphi} = 4\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} - 2$, $\frac{\partial^2\alpha}{\partial\varphi^2} = 4\frac{\partial^2\psi}{\partial\varphi^2}$, $\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} = \frac{\cos\varphi}{n\cos\psi}$

$\frac{\partial^2\psi}{\partial\varphi^2} = \frac{\cos^2\varphi\sin\psi - n\sin\varphi\cos^2\psi}{n^2\cos^3\psi}$ ist; so muss die Gleichung

$$2\cdot\frac{\cos^2\varphi\sin\psi - n\sin\varphi\cos^2\psi}{n^2\cos^3\psi} + \left(\frac{2\cos\varphi}{n\cos\psi} - 1\right)\frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = 0$$

erfüllt werden, was durch die Werthe $\varphi = \psi = 0$ geschieht.

Hieraus geht hervor, dass die durch den Mittelpunkt des Tropfens gehenden Strahlen $JFII$, welche in derselben Richtung HJ zurückgebrochen werden, ein Minimum der Divergenz zeigen. Diese Minimaldivergenz ist nicht gleich null, vielmehr hat man hierfür

$$\partial\alpha = \frac{\partial\alpha}{\partial\varphi}\frac{\partial\varphi}{\partial x}\partial x = 2\left(2\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} - 1\right)\frac{\partial x}{r\cos\varphi} = 2\left(\frac{2}{n} - 1\right)\frac{\partial x}{r}$$

$$= 1{,}008\,\frac{\partial x}{r} \text{ oder auch } = 1{,}008\,\partial\varphi$$

Demgemäss wird ein in der Richtung HJ zurückkehrender rother Strahl nicht in der Intensität erscheinen, als der rothe Strahl CA: allein es werden in derselben Richtung HJ auch alle übrigen Farbenstrahlen zurückgebrochen, d. h. es findet daselbst keine Dispersion statt. Hiernach findet in der letzteren Richtung eine Summation aller einfachen Strahlen statt, welche weisses Licht erzeugen, wogegen der Strahl CA einfach bleibt.

Nach allem Diesen muss der Regenbogen einen hellen, aber weissen Mittelpunkt haben. Von diesem Mittelpunkte nimmt die Helligkeit sehr allmählich nach dem Farbenbogen hin ab und die dabei entstehende Dispersion erzeugt zugleich eine schwache und deshalb kaum wahrnehmbare Färbung. Erst in der Nähe des zuerst untersuchten Maximums der Ablenkung wird die Intensität der einzelnen Farben lebhaft und die Dispersion erheblich, sodass sich daselbst ein markirter Bogen in den prismatischen Farben erzeugt.

Zu der Wirkung der Strahlen $SDBCA$, welche im Tropfen gebrochen und gespiegelt werden, gesellt sich übrigens noch die Wirkung der Strahlen $S'E'A'$, welche an der Aussenfläche des Tropfens reflektirt werden. Diese Strahlen, welche keine Dispersion erleiden, er-

ugen eine helle Scheibe von weissem Lichte, deren Mittelpunkt mit m Mittelpunkte des Regenbogens zusammenfällt und welche sich mit nehmender Intensität über das ganze Gesichtsfeld zieht, dem sie sich über die vorstehenden Phänomene ausbreitet.

Der aus zwei- und mehrfacher Reflexion an der inneren and des Tropfens entstehende doppelte und mehrfache Regenbogen ist rch dieselben Prinzipien zu bestimmen, wie der obige einfache.

Es bedarf kaum der Andeutung, dass die verschiedenen Strahlen, lche in das Auge A dringen, nicht aus demselben Tropfen F stamen, dass vielmehr jeder anders geneigte Strahl einem besonderen Tron angehört. Der Vorgang ist in Fig. 232 dargestellt. $F_1, F_2, F_3 \ldots$ id verschiedene Tropfen, von welchen ein jeder dasselbe System von rahlen $F_1 A_1$, $F_1 B_1$, $F_1 C_1$ u. s. w. aussendet. Das bei A stehende Auge ıpfängt den unteren Strahl eines solchen Systems vom oberen Tropfen ., den mittleren vom Tropfen F_2 und den oberen vom Tropfen F_3. enn besondere Strahlen durch die Zwischenräume der Tropfen drinn; so ist ihr Effekt nach denselben Grundsätzen zu beurtheilen, indem les Molekül des Zwischenmediums, ähnlich den Tropfen, die Rolle eines bstständigen strahlenden Körpers spielt.

Es ist auch klar, dass die Bewegung der Tropfen dem Phänomene ine entsprechende scheinbare Bewegung mitzutheilen vermag, da ein opfen, sowie er seinen Ort verlässt, aufhört den wirksamen Strahl in s feststehende Auge zu senden und diese Rolle sofort an den Tropfen giebt, welcher an seine Stelle tritt.

7. Die scheibenförmigen Höfe. Wenn sich nach Fig. 233 der opfen F zwischen dem Auge A und der Sonne S befindet; so erzeugen

Fig. 232.

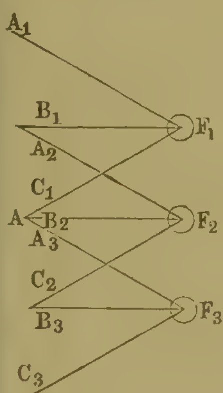
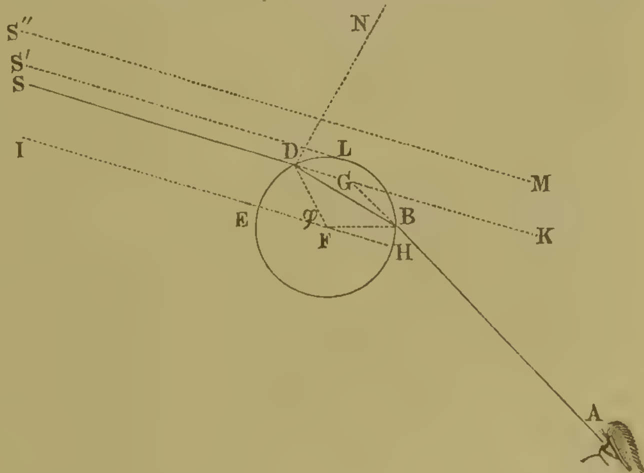


Fig. 233.



e in dem Tropfen gebrochenen Strahlen $SDBA$, welche keine Spiegeıng erleiden, ähnliche Erscheinungen wie die vorhin betrachteten gebroenen und reflektirten Strahlen, welche den Regenbogen hervorrufen. etzt man auch jetzt Winkel $DFE = \varphi$, $DBF = \psi$ und den Ablenungswinkel $AGK = \alpha$; so hat man $\alpha = 2(\varphi - \psi)$ und $\sin\psi = \frac{\sin\varphi}{n}$.

Der parallele Austritt von Strahlen oder das Maximum oder Minimum von α erfordert die Bedingung $\partial \alpha = 0$, also $\frac{\partial \psi}{\partial \varphi} = 1$, mithin $\varphi = \psi = 0$. Da aber für diese Werthe von φ und ψ auch das zweite Differential $\partial^2 \alpha = 0$ wird; so findet kein Maximum oder Minimum von α statt, wohl aber ein Minimum von $\partial \alpha$. Einen parallelen Austritt ohne alle Divergenz giebt es also nicht, wohl aber ein Minimum der Divergenz und Diess findet in der direkten Richtung JH der Sonnenstrahlen für alle Farben statt.

Die durch Regentropfen direkt gegen das Auge scheinende Sonne erzeugt also keine Farben- oder Lichtbögen, sondern eine Lichtfläche, welche in der Mitte am hellsten ist, und weisses Licht zeigt. Vom Mittelpunkte nimmt die Helligkeit sehr allmählich ab und es stellt sich eine schwache Färbung ein.

Da sich die violetten Strahlen stärker brechen, als die rothen, also unter steilerem Winkel gegen die Linie JH sich neigen; so muss diese Färbung nach dem Zentrum röthlich und am Umfange violetlich sein. Übrigens können hierbei Abscheidungen nach den prismatischen Farben nicht vorkommen, weil es sich nicht um örtlich getrennte Maximen für die einzelnen Farben, sondern um die Überdeckung verschieden gefärbter Flächen handelt. Der Farbenwechsel beruht auf folgendem Vorgange. Die im Sonnenlichte enthaltenen rothen Strahlen erzeugen eine rothe Kreisfläche mit allmählich abnehmender Intensität. Die gelben Strahlen erzeugen eine gelbe Fläche dieser Art von etwas grösserem Durchmesser, welche sich auf die rothe legt und dieselbe etwas überragt. Ebenso erzeugen die blauen Strahlen eine blaue Fläche, welche sich auf die vorhergehende legt und dieselbe wiederum etwas überragt u. s. f. Auf diese Weise entsteht eine wesentlich weisse Fläche mit schwachem Farbenwechsel.

Der steilste Strahl, welcher durch den Tropfen gebrochen werden kann, entspricht dem Falle, wo der Sonnenstrahl $S'L$ den Tropfen bei L berührt. Alsdann ist $\varphi = 90^0$, $\sin \psi = \frac{1}{1,33} = 0,752$, $\psi = 48^0 46'$ $\alpha = 82^0 28'$. Der Lichtschein bildet also die begrenzte kreisförmige Basis eines Kegels von $2 \times 82^0 28' = 164^0 56'$ Öffnung.

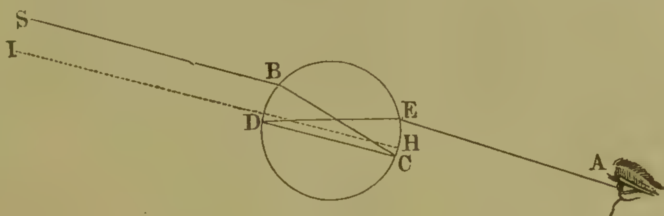
Jeder Sonnenstrahl wie $S''M$, welcher den Tropfen F und auch den Nachbartropfen nicht trifft, sondern ungebrochen durch die Zwischenräume geht, tritt mit unveränderter Richtung in das Auge. Diese Strahlen bewirken, dass im Zentrum des Lichthofes das Sonnenbild als stark leuchtende Scheibe erscheint. Diese Scheibe würde den Durchmesser der Sonne haben, wenn keine Diffusion in dem nebligen Medium stattfände. Wegen dieser Diffusion und wegen der durch Reflexion an den Aussenflächen der Tropfen bewirkten Zersplitterung des durch die Zwischenräume gehenden Lichtes erscheint das Zentrum des Lichthofes nicht als scharf begrenzte, sondern als eine nach aussen verwaschene helle Scheibe von grösserem oder kleinerem Durchmesser.

Ausser diesem diffundirten und unregelmässig reflektirten Lichte erzeugt auch noch das regelmässig reflektirte Licht einen Hof. Von

lem Strahle $SDBA$ wird an der Brechungsstelle D auch ein Theil des chtes nach DN reflektirt. Für den Berührungsstrahl SL ist dieser eil am grössten und parallel zu JH; für die weiter nach JH hin lieuden Strahlen wird jener Theil immer schwächer und steiler, derselbe eugt also einen Schein weisses Licht, welches sich vom Zentrum nach ssen mehr und mehr schwächt.

Endlich kömmt für die obige Stellung des Auges noch dasjenige cht in Betracht, welches sich wie der Strahl $SBCDEA$ (Fig. 234)

Fig. 234.



Tropfen bricht und zweimal spiegelt. Dieses Licht kann zwar keine hafte Intensität zeigen; allein dasselbe bildet wie im Regenbogen für e Farbe ein örtlich geschiedenes Intensitätsmaximum, ist also geeignet, rkirte farbige Bögen zu erzeugen.

Beim Regenbogen hat das Auge die Sonne im Rücken; das Lichtänomen hat also einen dunkelen Hintergrund, wodurch dasselbe möge des Kontrastes wesentlich gehoben wird. Bei den zuletzt bechteten Lichthöfen dagegen blickt das Auge gegen die Sonne, auf einen llen Hintergrund. Diess hat zur Folge, dass die grösseren Lichtscheine d namentlich das Farbenspiel kaum wahrnehmbar wird. Nur wenn der ond, welcher ein viel schwächeres Licht hat als die Sonne, der Erzeu- dieser Erscheinungen ist, werden die Höfe und deren Farben deutner, wogegen es zur Erzeugung eigentlicher Regenbögen meistens Intensität fehlt.

Namentlich erzeugt das Mondlicht, wie schon erwähnt, lebhafte Farnhöfe im Fensterschweisse. Da dieser Schweiss linsenförmige assermassen auf einer ebenen Glasschicht bildet; so findet nicht bloss eben besprochene Brechung statt, welche nur schwache Färbunn erzeugt, sondern es ergiebt sich auch eine lebhafte Brechung mit der etzt erwähnten doppelten Spiegelung, welche getrennte Farnbögen hervorruft. Diese Bögen werden wegen des dunkelen nächtnen Hintergrundes deutlich sichtbar, und da die Lagen der einzelnen rbenmaximen von der Form der Wasserlinsen abhängt; so verändert h die Farbenfolge, wenn der Schweiss durch Anhauchen ker oder durch Verdunstung dünner wird.

8. **Die ringförmigen Höfe.** Wenn das äussere Medium nicht eine häufung von kugelförmigen Wassertropfen, sondern von Blasen bil-; so erzeugen sich bei dem verschiedenen Stande des Auges ähnliche änomene, wie die vorhin beschriebenen Regenbögen und Höfe. die Wand der Bläschen hinreichend dick; so kann sich darin bei dem

von der Sonne abgewandten Standpunkte des Auges ein vollständiger oder normaler Regenbogen bilden. Hierzu ist nach No. 6 nur erforderlich, dass der Radius b des hohlen Blasenraumes, wenn der äussere Radius $= r$ ist, der Werth $b = r \, sin \, \varphi = 0{,}8624 . r$, oder dass die Wanddicke c den Werth $c = 0{,}1376 . r$ hat. In Nebelblasen, deren Wanddicke etwa den 7ten Theil des Radius oder mehr beträgt, bildet sich also ein Regenbogen wie in vollen Tropfen.

In Blasen von geringerer Wanddicke wird der Regenbogen unvollkommen. Da für violette Strahlen das Maximum der Wirkung einem Winkel φ angehört, welcher kleiner ist, als der den rothen Strahlen angehörige; so muss für diese Strahlen der innere Radius b kleiner oder die Wanddicke c grösser sein. Bei abnehmender Wanddicke der Bläschen verschwindet also der Regenbogen von seinem inneren violetten Rande nach aussen hin. Aus der Beschaffenheit des Regenbogens auf einer Nebelwand lässt sich also ein Schluss auf die Dicke der Bläschenwände machen.

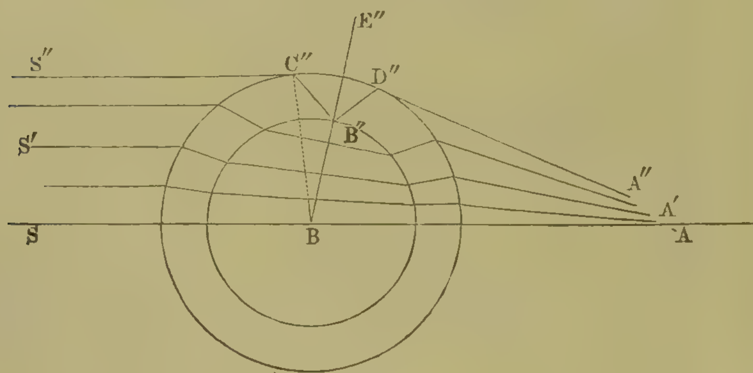
Nachdem bei genügender Verminderung der Wanddicke der eigentliche Regenbogen ganz verschwunden ist, bleibt nur ein äusserer Ring des vorhin besprochenen, stetig verlaufenden, schwach gefärbten scheibenförmigen Hofes zurück.

An den inneren Theil dieses Hofes tritt ein ähnlicher kontinuirlicher Hof von schwacher Färbung.

Die an der Aussenfläche des Bläschens reflektirten Strahlen erzeugen denselben schon in No. 6 genannten allmählich verlaufenden Hof von weissem Lichte, welcher sich über die vorstehenden Höfe ausbreitet.

Für den in No 7 betrachteten Standpunkt des der Sonne zugewandten Auges ergiebt sich aber ausser den daselbst besprochenen kontinuirlichen Höfen noch ein besonderes Phänomen. Fig. 235 stellt

Fig. 235.

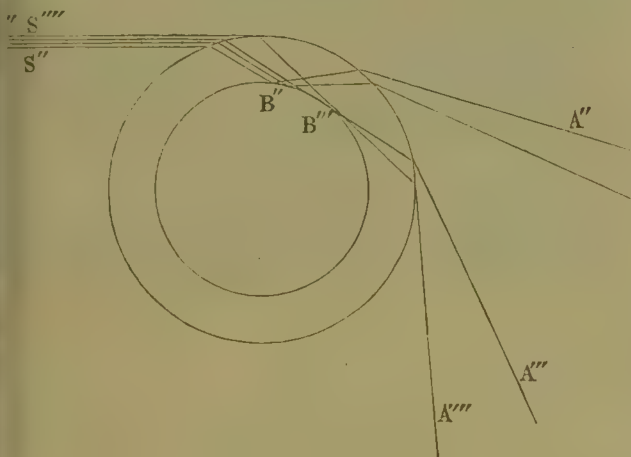


den Gang der Strahlen dar, welche, von der Sonne S, S', S''... kommend, sich durch die beiden Wände der Blase brechen, also in das Innere derselben eintreten. Der Strahl $S'' B'' A''$ ist der höchste Strahl dieser Klasse; seine Lage ist von der Art, dass sich das Stück $C'' B''$ gegen den Radius $B B''$ unter dem Winkel $C'' B'' E'' = \beta$, für welchen man $sin \, \beta$

$:\frac{1}{n} = \frac{1}{1,33} = 0,752$ hat, d. h. unter dem Winkel von $48^0\ 46'$ neigt, dass der in das Innere dringende Strahl tangential zu der Peripherie rtgehen müsste.

Was die höher gelegenen Strahlen betrifft; so folgen nunmehr nach g. 236 auf den Strahl $S'' B'' A''$ zunächst solche, welche an dem Umfange des inneren Blasenraumes reflektirt werden. Der Strahl $S''' B''' A'''$, welcher den inneren Raum bei B''' berührt, ist der letzte dieser Strahlen.

Fig. 236.



Die jetzt folgenden Strahlen wie $S'''' A''''$ bleiben ohne Unterbrechung in der Blasenwand, brechen sich also ganz so, wie die äussersten Strahlen in einem vollen Tropfen sich brechen würden.

Ein besonderer Helligkeitskontrast muss in der Richtung des Strah- $S'' B'' A''$ entstehen, weil hier das Eindringen in den inneren Blasenım, also der erhebliche Lichtverlust aufhört, welcher mit einem zweimaen Übergange aus der Wasserwand in den inneren Luftraum und s dem inneren Luftraum in die Wasserwand verbunden ist. Diese rahlen werden also einen Ring markiren, d. h. sie werden die Grenze ischen einer nach innen dunkleren Scheibe und einer nach aussen helen Ringfläche bilden, welche sich vermöge des Kontrastes noch stärker rvorhebt, also eine helle Kreislinie oder einen scharfen hellen ınd darstellt, der nach aussen hin seine Helligkeit ermässigt oder verhwimmt.

Bezeichnet in Fig. 235 φ wie früher den Zentrumswinkel $C'' B S$ für n Punkt C'' gegen die Richtung SB des Sonnenstrahls, und ψ den Winl $B'' C'' B$ des gebrochenen Strahles $C'' B''$ gegen den Radius $B C''$, β n Winkel $C'' B'' E''$ und α den Neigungswinkel des aus der Blase herrtretenden Strahls $D'' A''$ gegen die Richtung SB; so findet man, da $\sin\beta = \sin 90^0 = 1$ ist, $\sin\varphi = \frac{b}{r}$, $\sin\psi = \frac{b}{nr}$ und $\alpha = 4\,(90^0$ $\beta + \psi - \varphi) = 4\,(41^0\ 14' + \psi - \varphi)$.

Die Öffnung α des Kegels, welchem der helle Ring angehört, oder e scheinbare Grösse dieses Ringes hängt also wesentlich von dem Verltnisse des inneren Radius b zum äusseren Radius r der Blase ab. Je inner die Bläschenwand ist, desto kleiner wird der Ring.

Beträgt die Wanddicke $c = \frac{1}{10} r$ oder ist $b = 0{,}9\,r$; so findet man $\varphi = 64^0\ 10'$, $\psi' = 42^0\ 35'$, $\alpha = 78^0\ 36'$. Beträgt die Wanddicke dagegen nur $c = \frac{1}{100} r$ oder ist $b = 0{,}99\ r$; so ergiebt sich $\varphi = 81^0\ 54'$, $\psi = 48^0\ 5'$ und $\alpha = 29^0\ 40'$.

Wenn sich der Brechungskoeffizient $n = 1{,}33$ auf die rothen Strahlen bezieht; so ist der für die violetten etwa $= 1{,}34$. Hierfür wird $\sin\beta = \frac{1}{1{,}34} = 0{,}7463$ und $\beta = 48^0\ 16'$, $90^0 - \beta = 41^0\ 44'$. Für die Wanddicke $c = \frac{1}{10} r$ wird mithin $\alpha = 80^0 36'$ und für die Wanddicke $c = \frac{1}{100} r$ $\alpha = 31^0\ 40'$.

Überhaupt erkennt man, dass jede Farbe ihren besonderen Kreis hat, dass der Ring also die prismatischen Farben, jedoch in umgekehrter Ordnung wie beim Regenbogen, nämlich das Roth innen und das Violet aussen zeigen wird.

Ausser dem eben beschriebenen Ringe wird sich auch derjenige, jedoch weniger stark markiren, bei welchem nach Fig. 236 der Strahl $S''' B''' A'''$ die innere Blasenwand berührt, indem die darauf folgenden Strahlen $S'''' A''''$ die Blase wie einen einfachen Tropfen durchdringen, also keinen Verlust durch Reflexion an der inneren Blasenwand erleiden.

Für diese Grenzstrahlen hat man $\sin\psi = \frac{b}{r}$, $\sin\varphi = \frac{nb}{r}$ und der Ablenkungswinkel $\alpha = 2(\varphi - \psi)$. Damit dieser zweite Ring zu Stande kommen kann, muss $\sin\varphi = \frac{nb}{r} < 1$, also $b < \frac{r}{n}$ d. i. $< 0{,}752 . r$ oder die Wanddicke $c > 0{,}248\,r$ sein. Bläschen, deren Wanddicke weniger beträgt als den vierten Theil des Radius vermögen hiernach den fraglichen Ring nicht zu erzeugen. Für Bläschen, welche eben diese Dimension haben, ist der Ablenkungswinkel des fraglichen Ringes, indem $\varphi = 90^0$, $\psi = 48^0\ 46'$ wird, $\alpha = 82^0\ 28'$. Für solche Bläschen fällt also der fragliche Ring mit der Grenze des schon in No. 7 betrachteten scheibenförmigen Hofes zusammen. Je dicker nunmehr die Wandstärke wird, desto mehr verkleinert sich der fragliche Ring.

Dieser Ring bildet wie der vorhergehende einen hellen Rand, welcher nach innen ziemlich scharf ist, nach aussen aber verschwimmt. Derselbe zeigt auch einen Farbenwechsel. Wenn n grösser wird, wie bei den violetten Strahlen, wächst φ, also auch α. Hieraus folgt, dass bei diesem Ringe, wie bei dem vorhergehenden das Roth nach innen, das Violet aber nach aussen gekehrt ist.

Es ist möglich, dass bei der Nebelbildung die Wanddicke der Bläschen unter gewöhnlichen Verhältnissen nahezu ein bestimmtes Verhältniss

m Halbmesser annimmt, sodass Ringe von einem bestimmten Durch-
ısser sich häufiger darbieten.

9. **Nebensonnen.** Das gegen die Sonne gerichtete Auge erblickt der mit Dunst gefüllten Luft zuweilen die in Fig. 237 dargestellte Figur mit grösserer oder geringerer Vollständigkeit der einzelnen Theile. Das Wesentliche daran sind die im horizontalen und vertikalen Radius des hellen Ringes sich bildenden Figuren, die Nebensonnen und Berührungsbögen.

Fig. 237.



Man hat diese Figuren, sowie den Hauptring selbst einer Bre-
.ung und Reflexion an Eisnadeln in der Luft zugeschrieben. Ich bin
:r Ansicht, dass nur Bläschen das Phänomen erzeugen können. Der
ıuptring, konzentrisch um die Sonne, entspringt aus der Blasenform, so-
:it dieselbe normal ist. Die mit der Sonne konzentrische Gestalt des
ıuptringes setzt nothwendig eine Kugelform, keine Krystall-
rm voraus. Ein Haufen Krystalle, welche eine parallele Lage annehmen
as schon an sich in der Luft nicht leicht zu realisiren ist) bilden immer
steme von parallelen brechenden Flächen; die wirksamen Strahlen des
rallelen Sonnenlichtes können also nur in parallelen Richtungen aus-
əten, folglich für ein menschliches Auge nur geradlinige Licht-
reifen, keine Ringe erzeugen.

Die Normalität der Bläschenform kann durch die Berührung der
äschen gestört werden. Diese Berührung findet vorzugsweise in dem
ərtikalen Durchmesser und in den horizontalen Durchmessern statt.
ərührungen in geneigten Durchmessern können nicht füglich in Masse
orkommen, weil die hieraus entspringenden Spannungen und die übrigen
ıf und in den Bläschen wirkenden Kräfte unter dem Einflusse der Flüs-
gkeit, der Adhäsion und der sonstigen Molekularkräfte keinen dauern-
ən und sicheren Gleichgewichtszustand in der Nebelmasse bilden werden.
usserdem werden auch die horizontalen Durchmesser, an deren En-
ən sich die Bläschen berühren, für die übergrosse Mehrzahl normal auf
e Richtung der Sonnenstrahlen stehen, weil die Wirkung der Sonnen-
ärme eine symmetrische Stellung der davon affizirten Bläschen gegen
e Richtung dieser Strahlen zu erzielen sucht.

Betrachten wir zunächst die Wirkung einer horizontalen Berührung
(Fig. 238 a. f. S.), welche am Ende eines horizontalen, auf der Gesichts-
nie normal stehenden Durchmessers liegt. Fig. 239 stellt den Grund-
iss der Stelle B dar. Durch den Kontakt der Bläschen entsteht hier das
ntrale Stück einer Zerstreuungslinse, deren Axe normal auf der Rich-
ıng der Sonnenstrahlen steht. Wie sich auch in diesem Körper die

Strahlen brechen und reflektiren mögen: die intensivste Linie der entstehenden Brennfläche muss nothwendig in der durch die Axe jener

Fig. 239.

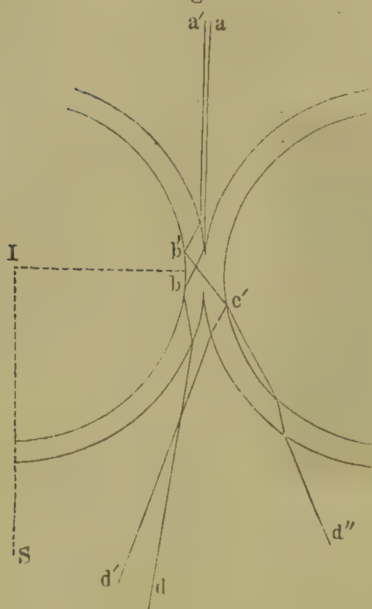
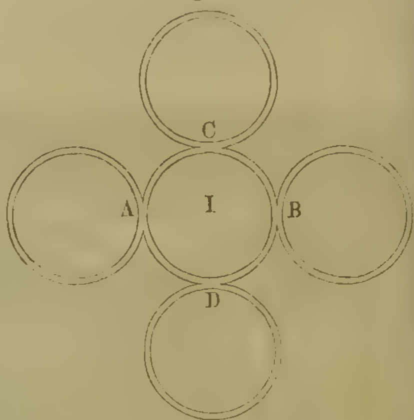


Fig. 238.



Linse und den Sonnenstrahl JS gehenden Ebene liegen, also dem Auge als ein horizontaler Streifen erscheinen. Wenn abd der Strahl des in vorhergehender Nummer betrachteten normalen Hauptringes ist; so wird die Berührungsstelle Strahlen wie $a'b'c'd'$ erzeugen, welche bei b' und c' an den inneren Wandungen der benachbarten Bläschen reflektirt werden und von welchen die Strecken $c'd'$ sich steiler gegen die Augenaxe neigen. Hierdurch wird also ein horizontaler Streifen hervorgerufen, welcher ausserhalb des Hauptringes liegt.

An der Berührungsstelle entstehen aber auch Strahlen wie $a'b'c'd''$, welche, nachdem sie bei b' reflektirt sind, bei c' in die Nachbarblase eindringen. Diese Strahlen stellen sich flacher gegen die Augenaxe und erzeugen einen horizontalen Streifen, welcher innerhalb des Hauptstreifens liegt. Da die letzteren Strahlen dreimal gebrochen werden, während die vorhin erwähnten nur zweimal gebrochen werden; so wird der innere horizontale Streifen schwächer erscheinen, als der äussere und in manchen Fällen ganz fehlen.

Wie die beiden Berührungsstellen A und B am Ende des horizontalen Durchmessers (Fig. 238) zwei horizontale Streifen, links und rechts vom Mittelpunkte des Hauptringes erzeugen; so müssten die beiden Berührungsstellen C und D am Ende des vertikalen Durchmessers zwei vertikale Streifen erzeugen. Diess würde auch geschehen, wenn die Richtung der Sonnenstrahlen horizontal wäre, wenn sich also die Sonne im Momente des Auf- oder Unterganges befände. Bei einem höheren Stande der Sonne jedoch treffen die Strahlen auf die Zerstreuungslinse C oder D nicht normal zu deren Axe, sondern in schräger Richtung von oben. Diess bewirkt, dass die Linse keine symmetrisch nach oben und unten gekehrten Erscheinungen erzeugen kann. Vielmehr verschwindet mit dem Aufsteigen der Sonne der untere Streifen immer mehr und der

ıere verwandelt sich in zwei bogenförmige Schenkel. Endlich verschwin-·t sogar der untere Theil des Hauptringes und der obere Bogen breitet ch über dem Hauptringe flach aus.

Durch die Berührung der Bläschen können sich noch manche anderen guren erzeugen. Namentlich wird Diess geschehen, wenn sich durch die irkung der Kondensation und der Schwere in den unteren Punkten der äschen Ansammlungen von Flüssigkeiten bilden, welche die gewöhnliche asenform an dieser Stelle verändern. Hierdurch würden insbesondere e Erscheinungen an den vertikalen Durchmessern des Hauptringes, also e Berührungsbögen eine Änderung erleiden.

Die Kondensation muss bei kaltem Wetter und besonders nahe vor m Gefrieren am stärksten werden und hierin liegt vielleicht der Grund s häufigeren Erscheinens des ganzen Phänomens im Winter. Obgleich s Phänomen zuweilen bei einer Luftbeschaffenheit beobachtet ist, wo isnadeln in der Luft schwebten; so folgt hieraus doch keineswegs, dass e Eisnadeln dasselbe erzeugt haben. Wo Eisnadeln sind, findet auch erdunstung statt, namentlich, wenn dieselben von der Sonne beschie-en werden, wie es ja das Phänomen voraussetzt. Die bei lebhafter irkung der Sonne entstehenden Dämpfe können nicht in Eisform sein; dieser Annahme würde ein Widerspruch liegen: Verdampfung geht in asform vor sich und erfordert erst den flüssigen Zustand, also die lasenform als Zwischenstufe zum demnächstigen Übergange in den arren Zustand des Eises. Ausserdem wird bei der Kondensation zur äschenform eine erhebliche Menge latenter Wärme frei, welche, in Ver-ndung mit den direkten Sonnenstrahlen, einen längeren Bestand der äschenform trotz der niedrigen Wintertemperatur in vielen Fällen sehr ohl möglich macht.

§. 44.

Einfluss der Diffusion oder Leuchtkraft des äusseren Mediums. — Erscheinungen am Himmel.

1. Konkurrenz der Luft. Beim Sehen eines Objektes in der Luft onkurrirt dieses Medium auch vermöge seiner eigenen Leuchtkraft it den vom Objekte ausgesandten Strahlen. Einmal verändert die uft, indem sie von den Strahlen des Objektes durchdrungen wird, diese rahlen nach §. 2 No. 4 und ausserdem sendet sie eigene, von der Sonne rekt in ihr erregte Strahlen mit denen des Objektes gleichzeitig in un-r Auge.

Bei dieser Wirkung der Luft kömmt erstens die Farbe, zweitens die ntensität und drittens die Grösse und Entfernung des Objektes Betracht.

2. Farbe. Hinsichtlich der Farbe; so zerfällt die Wirkung der uft in zwei Effekte. Der erste Effekt besteht darin, dass die vom Ob-kte ausgehenden Strahlen beim Durchgange durch die Luft in der Rich-ıng der natürlichen Luftfarbe geändert werden, dass also ein Theil der

ursprünglichen Strahlen des Objektes vernichtet wird und dafür luftfarbige an die Stelle gesetzt werden. Der zweite Effekt besteht darin, dass gleichzeitig mit den eben genannten Strahlen auch die von der Erleuchtung der Luft durch die Sonne herrührenden Diffussionsstrahlen, welche die Luftfarbe, gemischt mit weissem Sonnenlichte, tragen, in das Auge dringen.

Im Wesentlichen muss hieraus eine Mischung der Farbe des Objektes mit der Luftfarbe unter einem grösseren oder kleineren Antheile von weissem Sonnenlichte hervorgehen.

Je intensiver das Objekt selbst leuchtet und je schwächer die Diffusionskraft der Luft ist, desto relativ geringer wird die Veränderung durch die Luft sein. Demgemäss erscheint in reiner Luft weder die Sonne noch der Mond blau. Dagegen ist die viel stärkere Diffusionskraft des Wasserdunstes, welcher zum scheinbaren Glühen gebracht werden kann, gross genug, um Sonne und Mond bei tiefem Stande, wo der Weg durch die Atmosphäre am längsten ist, eine orangerothe Farbe zu verleihen (vergl. §. 45).

Umgekehrt, je schwächer das Objekt leuchtet und je intensiver die Luft erleuchtet wird, desto eher wird die Farbe des Objektes von der der Luft und zwar von der Farbe der durch die Sonnenerleuchtung erzeugten Diffusionsstrahlen überwältigt werden.

3. Lichtstärke. Aus dieser Erörterung über die Farbe ergiebt sich zugleich das über die Wirkung der Intensität zu Sagende. Je intensiver das Objekt ist und je schwächer die Luft durch die Sonne erleuchtet ist, desto mehr prävalirt das Objekt nach Farbe und Intensität; je schwächer dagegen das Objekt ist und je stärker die Luft durch die Sonne erleuchtet ist, desto mehr überwiegt das Diffusionslicht der Luft nach Farbe und Intensität.

In einer sehr stark erleuchteten Atmosphäre verschwindet daher das Objekt in Folge des von der Luft ausgehenden zu starken Diffusionslichtes. Ein so starkes Diffusionslicht ist, da es aus einer intensiven Erleuchtung durch die Sonne entspringt, immer vorherrschend weiss (nicht blau oder orange).

Umgekehrt wird ein Objekt umso mehr zur Geltung kommen, je schwächer die zwischen uns und ihm liegende Luftmasse erleuchtet ist. Dasselbe wird umso intensiver und umso mehr in der Farbe der von ihm ausgehenden Strahlen erscheinen.

Hiernach kann man die aus Kanonen geworfenen grossen Geschosse bei bedecktem Himmel, nicht aber gut bei hell erleuchteter Luft in ihrer Bahn fliegen sehen.

Für die Intensität ist die Absorption der Luft von einer besonderen Bedeutung. Die Absorption ist umso grösser, je länger der Weg ist, welchen die Strahlen in der Luft zurückzulegen haben: ausserdem wächst sie mit der Diffusionsfähigkeit und mit der Undurchsichtigkeit der Luft. Die Diffusionsfähigkeit der Luft kann an dem Grade der Leuchtkraft erkannt werden, den sie selbst durch einunddieselbe Lichtquelle annimmt: je grösser diese Leuchtkraft ist, desto mehr Strahlen dieser und jeder anderen Lichtquelle werden absorbirt, desto

össer ist also die Absorptionsfähigkeit. So absorbirt der Wasserdunst d überhaupt feuchte Luft mehr als trockne Luft.

Mit der verstärkten Diffusion ist die vermehrte Undurchsichtig- it, welche auf einer Vernichtung oder Versperrung des Lichtes, ohne zeugung eigenen Leuchtens beruht, nicht zu verwechseln. Die Undurch- htigkeit wird z. B. durch kondensirten Wasserdunst, Bläschen- nst, Nebel erhöht.

Die Absorption der Luft vermindert die Intensität des Objektes d bewirkt bei genügender Entfernung des Objektes oder bei hin- chender Undurchsichtigkeit der Luft endlich vollständiges Erlö- hen der Erscheinung.

4. **Glanz.** Die von einem Objekte ausgehenden Strahlen sind nur m Theil diffundirtes und der natürlichen Farbe derselben ent- echendes Licht; zum anderen Theile bestehen sie aus reflektirten issen Strahlen des erleuchtenden Sonnenlichtes.

Bei der Diffusion vibrirt jedes Massentheilchen des Objektes wie leuchtender Punkt, welcher nach allen Richtungen gleichförmig ahlen aussendet. Ein diffundirender Körper erscheint daher ebenso ein selbstleuchtender sowohl aus der Nähe, wie aus der Ferne richtiger Intensität und Farbe.

Bei der Reflexion dagegen sendet ein Theilchen der Oberfläche des jektes den hauptsächlich wirksamen Strahl nur in einer einzigen chtung aus, welche sich gegen die Normale auf der Fläche dieses eilchens unter dem Einfallswinkel des erleuchtenden Strahles neigt. r reflektirte Strahl (in welchem sich unendlich viele Strahlen von der ensität eines Diffusionsstrahles vereinigen §. 2 No. 6) ist zwar viel stärker ein Diffusionsstrahl: allein derselbe geht nur nach einer einzigen chtung, stellt also keinen Strahlenkegel, sondern eine isolirte chtlinie dar, welche das Theilchen nur in dieser Richtung sichtbar chen könnte, in allen übrigen aber unsichtbar lassen müsste. Da n Körper von gewöhnlicher Beschaffenheit eine rauhe Oberfläche ben, deren Elemente in den verschiedensten Richtungen liegen, also das ht in den verschiedensten Richtungen reflektiren; so können von einem chen Körper im reflektirten Lichte keine stetig zusammenhängen- n Flächen, sondern nur isolirte Punkte sichtbar werden.

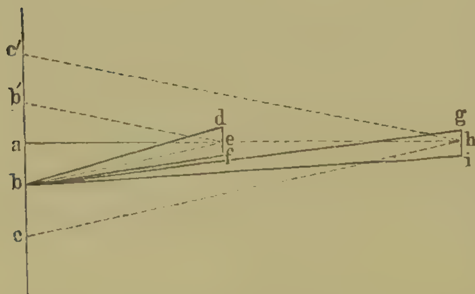
Das Auge erfordert aber nach §. 16 No. 10 zum normalen Sehen nicht en elementaren oder einen Linienstrahl, sondern ein Bündel n Strahlen, weil dasselbe sich nur auf ein Bündel, welches als Strahlen- gel auf die Netzhaut trifft, nicht aber auf eine Lichtlinie, welche r einen Durchschnittspunkt mit der Netzhaut bildet, akkommodi- n kann.

Hieraus ist klar, dass das reflektirte Licht nicht geeignet ist, einen rper in der Nähe sichtbar zu machen. Nur in dem Falle, wo die Fläche s Körpers ganz eben oder glatt ist, sodass die Flächen vieler reflekti- nden Theilchen in dieselbe Ebene fallen, also deren Reflexionsstrahlen Bündel bilden, kann dieser reflektirende Theil von einem in der Re- xionsrichtung stehenden Auge gesehen werden und erscheint alsdann ch ungewöhnlich hell und in der Farbe des reflektirten Lichtes.

Je weiter wir uns aber von dem Körper entfernen, je grösser al das Stück der Oberfläche desselben wird, welches einen gegebenen Se winkel einnimmt, desto grösser wird die Anzahl der reflektirten Strahle welche von irgend einer nach dem Objekte gezogenen Richtung nur wen abweichen, oder desto mehr formiren sich die reflektirten Strahlen zu z sammenhängenden Strahlenbündeln. Mit zunehmender En fernung wird also ein Objekt vermöge des reflektirten Lic tes immer mehr sichtbar.

Was die Intensität des reflektirten Lichtes mit zunehmender En ernung betrifft; so ergiebt sich dafür nach Fig. 240 Folgendes. cc' s das Objekt und df die Pupille d Auges in der Entfernung ae; fe ner sei beb' der Winkel, innerhal dessen alle Linien, wie ca, cb, c dem Auge als parallel erscheine sodass uns das Stück bb' des Ol jektes als leuchtender Punkt ve möge aller von demselben au gehenden und in das Auge dri genden Strahlen erscheint. I nun gi eine entferntere Stellun der Pupille, hc parallel eb un hc' parallel cb'; so umfasst der Winkel chc' die Strahlen, welche de Auge parallel erscheinen und es erscheint jetzt das Stück cc' als Punk oder ebenso gross wie früher das Stück bb'.

Fig. 210.



Sendet nun der Punkt b des Objektes nach allen Richtungen gleic starke Strahlen aus; so ist die Affektion des Auges gi durch den Punkt im umgekehrten Quadrate des Verhältnisses der Entfernungen ah und a kleiner, als die Affektion des Auges df: denn in diesem Verhältnisse is der Raum- oder Strahleninhalt des Kegels gbi kleiner als der des Kegel dbf. Andererseits ist aber die Anzahl der strahlenden Punkte b für da Auge gi im Verhältnisse jenes Quadrates grösser, als für das Auge df denn in diesem Verhältniss ist die Fläche cc' grösser als die Fläche bb'

Hieraus geht hervor, dass die Intensität des leuchtenden Objektes von der Entfernung unabhängig ist oder für jede Entfernung des Auges sich gleich bleibt, vorausgesetzt nur, dass jeder Punkt b der Oberfläche des Objektes nach allen Richtungen gleich starke Strahlen entsendet.

Die letztere Bedingung findet für das Licht statt, welches ein selbstleuchtender Körper aussendet, und auch nahezu für dasjenige Licht, welches ein an sich dunkeler Körper in Folge der Erleuchtung oder Erregung diffundirt und welches seine natürliche Farbe darstellt. Abgesehen von der Schwächung des Lichtes durch die Absorption der Luft würde uns also ein Körper in seiner natürlichen Farbe aus jeder Entfernung gleich intensiv erscheinen. Für nahe Entfernungen ist die Absorption der Luft unbedeutend, das vorstehende Gesetz also nahezu erfüllt. Mit zunehmender Entfernung absorbirt die Luft von den Strahlen des Objektes immer mehr und wir wissen, dass Entfernungen

erhalb unserer Atmosphäre ausreichen, um das diffundirte Licht der ı der Sonne erleuchteten dunkelen Körper vollständig zu absorbiren.

Hieraus folgt direkt, dass wenn die einzelnen Theile der erfläche des an sich dunkelen Mondes verschiedene Farben tten (was man wohl annehmen muss), es doch unmöglich ıre, diese Farben durch die Atmosphäre der Erde zu ernnen, weil dieselben lediglich durch das vom Mondkörr diffundirte Licht sichtbar sind, welches die Atmosphäre ht zu durchdringen vermag.

Jeder ausserhalb der Atmosphäre der Erde liegende Körper kann · durch eigenes oder durch reflektirtes Sonnenlicht dem menschien Auge erscheinen. Was aber das reflektirte Licht betrifft; so gilt ı demselben das obige Gesetz nicht für die Nähe: denn in der Nähe den sich, wie vorhin gezeigt, noch keine zusammenhängenden Strahbündel. In dem Kegel $bfdb'$ mag der eine oder der andere reflektirte ahl liegen: die Zahl derselben ist jedoch umso kleiner, je kleiner die che bb' oder je kürzer die Entfernung ac ist. Mit wachsender Entnung nimmt die Zahl der reflektirten Strahlen in dem Raume $cigc'$ zu; bildet sich also immer mehr ein zusammenhängendes Strahlenbündel l das fragliche Gesetz macht sich immer mehr geltend.

Hieraus ist klar, dass wir einen Körper im reflektirten Lichte aus Nähe gar nicht sehen, wenn auch dieses Licht aus sehr intensiven ahlen besteht (welche vielleicht einzelne Glanzpunkte markiren), dass och die scheinbare Intensität dieses reflektirten Lichtes t der Entfernung zunimmt. Das von dunkelen Körpern bei dicter Beleuchtung durch die Sonne reflektirte Licht ist erfahgsmässig stark genug (wie der Mond und die Planeten lehren), um der Atmosphäre (insofern dieselbe rein oder frei von Nebel ist) nicht orbirt zu werden. Ein von der Sonne direkt beschienener Körper ımt also trotz der Absorption der Atmosphäre mit der Entfernung scheinbarer Helligkeit vermöge des reflektirten Lichtes zu.

Hieraus und aus dem Vorhergehenden ergiebt sich, dass der Mond, die im Sonnenscheine liegende irdische Landschaft nur aus der rne leuchtend und zwar im gelblich weissen Sonnenlichte ereint, gleichviel ob ihre Substanz eine weisse, schwarze, grüne oder ane Farbe trägt, dass überhaupt die Farbe des erleuchteten Körpers chaus verschwindet.

Ich nenne die optische Eigenschaft, welche ein Körper durch rektirtes Licht empfängt, seinen Glanz.

Es leuchtet ein, dass der Glanz durch Kontrast erhöht werden ın, und dass, wie schon in §. 40 No. 2 erwähnt ist, ein Gegenstand umso nzender erscheint, also auch schon aus umso geringerer Entfernung ängt zu glänzen, je weniger Glanz oder Licht die Umgebung hat.

Nicht alle Theile eines glänzenden Körpers werden gleiche Inısität zeigen. Die besser reflektirenden werden heller erschei-ı, als die schlechter reflektirenden, und hieraus wird bei bekannten bstanzen zuweilen auf die natürliche Farbe geschlossen werden ınen.

Aus der Nähe, wo das diffundirte Licht allein den Gegenstand

sichtbar macht und das reflektirte Licht nur einzelne Glanzstellen auszeichnet, affizirt das reflektirte Licht der übrigen Theile das Auge zwar nicht in der zum Sehen erforderlichen Weise: gleichwohl ist dieses Licht nicht ganz wirkungslos, indem ja seine einzelnen Strahlen die Netzhaut treffen, die Nervenfasern erregen, also das Auge gewissermaassen erleuchten, ohne die Vorstellung von einem bestimmten Objekte zu erzeugen. Auf dieser Wirkung beruht das verschiedene Ansehen, welches Körper aus verschiedenem Stoffe bei gleicher Farbe und Helligkeit zeigen. So haben namentlich die Metalle einen besonderen Glanz; unter den Zeugen glänzt vornehmlich die Seide, und auch die menschliche Haut hat einen eigenthümlichen Glanz.

Von ganz besonderer Wichtigkeit ist das reflektirte Licht für die Photographie. Das Auge sieht in der Nähe nicht den einfachen reflektirten Strahl, wird also auch nicht von demselben gestört, obwohl sich dieser Strahl wie jeder andere nach dioptrischen Gesetzen im Auge bricht: das photographische Instrument, welchem Erkenntniss, also auch Akkommodation kein Bedürfniss ist, welchem also die Strahlen nicht bündelweise zugeführt zu werden brauchen, reagirt auf den reflektirten Strahl so gut wie auf jeden anderen, erzeugt also häufig chemische Effekte, welche, indem sie dem Auge sichtbar werden, sich weit von der natürlichen Erscheinung des Objektes entfernen. Alle stärker reflektirenden Flächen und Stellen zeichnen sich im positiven photographischen Bilde durch grössere Intensität (Helligkeit) aus. Blanke Metalle (selbst Eisen), seidene Kleider (selbst schwarze), menschliche Gesichter erscheinen hier immer relativ hell.

Bei genügender Entfernung des Objektes tritt das obige Gesetz der Unveränderlichkeit der stärkeren Lichtstärke pro Einheit des Sehwinkels oder des Netzhautbildes mit hinreichender Schärfe in Kraft. Nach diesem Gesetze muss die Sonne in der Sonnennähe (im Perihel) denselben Glanz haben wie in der Sonnenferne (im Aphel), abgesehen von der verschiedenen Absorption der Atmosphäre der Erde in den verschiedenen Jahreszeiten. Nur das Gesammtlicht der Sonne kann mit ihrer Entfernung in dem Verhältnisse schwächer werden, wie ihre scheinbare Grösse abnimmt, d. h. im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung. Durch ein feines Loch, welches nur einen zentrischen Theil der Sonnenscheibe sichtbar macht, empfängt jedoch das Auge zu allen Zeiten dieselbe Lichtmenge.

Es ist klar, dass ein leuchtender Körper mit zunehmender Entfernung nur so lange seine Intensität behält, als er die Basis cc' des Kegels $cigc'$ vollständig ausfüllt oder darüber hinausragt. Der Winkel dieses Kegels ist von der Empfindlichkeit des Auges und der absoluten Intensität der Leuchtkraft des Objektes abhängig und stellt die Maximalabweichung dar, welche wir noch für parallel halten, oder den kleinsten Sehwinkel, welchen wir überhaupt als Winkel erkennen, bei dessen Überschreitung wir also die Grösse des in diesem Winkel liegenden Objektes als wachsend erkennen, wogegen alle Objekte von kleinerem Sehwinkel uns als gleich grosse Punkte erscheinen.

Sobald die Entfernung des Objektes so gross wird, dass sein Sehwinkel den oben gedachten Grenzwinkel unerreicht lässt, sobald das-

be also die Basis cc' jenes Winkels nicht mehr ausfüllt, tritt offenbar zunehmender Entfernung scheinbare Abnahme der Intensität ein. tten also alle Sterne eine gleiche absolute Lichtstärke oder entäche dem Lichte aller Sterne dieselbe Grösse des eben bezeichneten enzwinkels, was für die Fixsterne nahezu wohl der Fall sein wird; so n man aus dem Umstande, dass die Sterne verschieden hell und amtlich weniger intensiv als die Sonne erscheinen, mit Sicherheit liessen, dass der wirkliche Sehwinkel aller Sterne kleiner ist, jener Grenzwinkel.

Bei Objekten, deren Sehwinkel kleiner ist als dieser Grenzwinkel, lche also als Punkte erscheinen, verliert der Begriff der Intensität pro ächeneinheit seine Bedeutung und es kömmt nur noch das Gesammtht in Betracht, dessen Stärke dem Verhältniss des umgekehrten Quates der Entfernung folgt und demgemäss das vorstehende Gesetz der einbaren Abnahme mit zunehmender Entfernung bethätigt.

Aus Vorstehendem geht ferner allgemein hervor, dass das Gesammtit, welches Körper von gleicher absoluter Intensität pro Flächeneinheit eine gegebene Fläche, z. B. ein menschliches Auge werfen, durchaus nen Schluss auf ihre relative Entfernung gestattet, solange man nicht e Sehwinkel kennt. Denn jeder Körper von solcher Leuchtkraft, lcher denselben Sehwinkel einnimmt, liefert dem Auge dieselbe htmenge, gleichviel ob seine Entfernung gross oder klein ist. Demnäss lässt der Glanz der Fixsterne durchaus keinen Schluss auf ihre tfernung zu.

Wohl aber kann man aus diesem Glanze auf den Sehwinkel der rne schliessen. Denn wenn α den Sehwinkel und j die eben bezeiche scheinbare Lichtmenge eines Körpers bezeichnet; so ist j der Grösse Kugelfläche vom Radius 1, welche einem Kegel von der Öffnung α spricht, proportional; man hat also $j = k\alpha^2$, worin k einen konstanten effizienten darstellt. Hiernach ist auch $\alpha = k'\sqrt{j}$, d. h. die Sehnkel zweier Sterne verhalten sich wie die Quadratwurzeln er Gesammtlichtstärken.

Auf die Entfernung der Sterne ist, wie schon erwähnt, kein Schluss der Lichtstärke möglich. Wenn aber die Entfernung aus anderen bachtungen bekannt geworden ist, kann die Lichtstärke dadurch, dass den Sehwinkel festsetzt, zur Bestimmung der Grösse des Sternrpers dienen.

5. Grösse und Entfernung. Die Leuchtkraft der Luft hat nen Einfluss auf die scheinbare Richtung, in welcher wir das Objekt licken (die scheinbare Ortsveränderung entspringt nach §. 43 No. 3 aus der schiedenen Brechbarkeit der einzelnen Luftstrecken und der Neigung r Grenzflächen dieser Strecken gegen die Sehlinie). Wohl aber beflusst diese Leuchtkraft, indem sie Strahlen ins Auge sendet, die Akkomdation und dadurch die scheinbare Grösse und Entfernung.

Je stärker die von den Strahlen des Objektes durchdrungene Luft ch diese Strahlen zum Leuchten gebracht wird, desto grösser ist die zahl und Stärke derjenigen Strahlen, welche, von der leuchtenden ft ausgehend, neben den Strahlen des Objektes in das Auge dringen,

desto grösser wird auch der Winkel des wirksamen Kegels, welche von solchen fremden Strahlen gefüllt wird. Diese Diffusionsstrahlen der Luft gehen von allen Punkten der nach dem Objekte führenden Linie aus, kommen also von kleineren und sehr verschiedenen Sehweiten und verhalten sich wie Strahlen, welche von Objekten mit grösseren Sehwinkeln ausgehen.

Demzufolge müssen diese Strahlen den Effekt haben, das Auge zu nahe zu akkommodiren und die Linse zu stark zu wölben. Mit der Akkommodation auf geringere Nähe ist scheinbare Verkleinerung, mit der stärkeren Wölbung der Linse aber scheinbare Vergrösserung verbunden. Wenn es sich um sehr entfernte Objekte handelt, wie es nur der Fall sein kann, da für nahe Objekte die Luft des Zwischenraumes keine erheblichen Effekte hervorbringen kann, ist die mit der Akkommodation auf veränderte Sehweite verbundene Grössenveränderung unbedeutend, weil bei entfernten Objekten nur der Sehwinkel über die Grösse entscheidet. Die aus der stärkeren Wölbung der Linse entspringende Vergrösserung des Sehwinkels ist also der überwiegende Effekt und das Resultat besteht darin, dass vermöge der Leuchtkraft der Luft das Objekt näher und zugleich grösser erscheint.

Da die Luft durchsichtig ist und von allen auf die Richtungslinie normal stehenden Querschnitten des fraglichen Kegels Strahlen aussendet, so kann sie nicht als ein bestimmtes Objekt erscheinen, also auch nicht die auf der Vergleichung zweier Objekte beruhenden Kontrastwirkungen in normalem oder erheblichem Maasse herbeiführen. Ihre Wirkung ist fast ausschliesslich die vorstehend beschriebene Induktions- oder Konkurrenzwirkung, und alle Umstände sind danach angethan, die von der Luft ausgehenden Strahlen mit den von dem Objekte kommenden mehr oder weniger zu kombiniren oder zu identifiziren.

Wird die Luft nur durch die Strahlen des Objektes erhellt; so kann der Kegel die wirksamen Strahlen dieser Luft, dessen Axe die Sehlinie nach dem Objekte ist, keine den Sehwinkel des Objektes erheblich überschreitende Öffnung haben. Denn nimmt man in irgend einem Punkte dieser Sehlinie einen Querschnitt der Luft; so nimmt die Kraft der Diffusionsstrahlen, welche von den einzelnen Punkten dieses Querschnittes ausgehen, mit der Abweichung ihrer Richtung von der direkten Richtung der erregenden Strahlen, also mit dem Abstande von der Sehlinie rasch ab (§. 2). Wenn nun auch der Winkel des wirksamen Kegels der Diffusionsstrahlen der Luft den wirklichen Sehwinkel des Objektes nicht erheblich überschreitet; so kann doch die dadurch erzeugte Vergrösserung des scheinbaren Sehwinkels des Objektes, welche von der abnormen Wölbung der Linse und der Intensität der Strahlen abhängt, erheblich genug sein, um eine namhafte Täuschung über die Grösse des Objektes hervorzubringen.

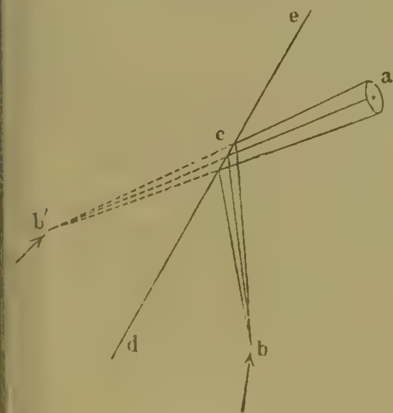
Die Ausführung dieses Resultates an einer interessanten Naturerscheinung behalten wir uns auf den nächstfolgenden Paragraphen vor. Gegenwärtig bemerken wir noch, dass wenn die Erleuchtung der Luft nicht von dem Objekte, sondern von einer anderen Ursache, z. B. von der seitwärts stehenden, ein Nebenobjekt bildenden Sonne ausgeht, sie nicht füglich den vorstehenden Effekt hervorbringen kann. Die stark wirken-

n Diffusionsstrahlen liegen alsdann in Richtungen, welche von der Sehlinie erheblich abweichen. Nebenobjekte, deren Richtung sich weit n der Sehlinie des Hauptobjektes entfernen, beeinflussen die Erscheinung s Hauptobjektes oder die zur Erkenntniss dieses Objektes dienenden nktionen des Auges überhaupt nur schwach. Insbesondere kann in sem Falle eine Wirkung von einiger Erheblichkeit durch die Leuchtaft der Luft nur dann entstehen, wenn dieselbe in grosser Masse euchtet wird, wenn ihre Diffusionsstrahlen also einen grossen Theil r Netzhaut affiziren. Unter solchen Umständen entsteht die schon her erwähnte Wirkung der allgemeinen Vermehrung der Helligkeit . Gesichtsraumes. Diese ist mit allgemeiner Kontraktion des Auges d auch mit einer Kontrastwirkung gegen das Hauptobjekt, im Wesentnen also mit scheinbarer Verkleinerung des Hauptobjektes ver-nden.

6. **Sehen vermöge reflektirter und vermöge diffundirter Strah-n.** In No. 4 haben wir gezeigt, dass wir einen nahen Körper nicht rch das auf seiner Oberfläche reflektirte, sondern nur durch das selbst diffundirte Licht sehen, indem das reflektirte Licht uns nur isoe Punkte oder Linien zeigt. Aber selbst diese Punkte oder Linien hören scheinbar nicht einmal dem reflektirenden Körper an; das ihnen sprechende Objekt liegt nicht in der Entfernung des reflektirenden rpers, sondern an der Stelle des nach bekannten Regeln leicht zu nstruirenden Spiegelbildes, welches noch nicht einmal ein wirklies, sondern nur ein virtuelles Bild, viel weniger ein wirkliches jekt ist.

Was von dem Spiegelbilde eines ebenen oder gekrümmten Spiegels t, gilt von jedem durch Reflexion sichtbaren Punkte. Wenn b ein jekt, de ein Spiegel und a das Auge ist (Fig. 241); so sehen wir vermöge der bei c reflektirten Strahlen nicht den reflektirenden Spiegelpunkt, sondern das Spiegelbild b', welches nur ein virtuelles Objekt ist (wie es in neuerer Zeit als Theatergespenst eine Rolle spielt).

Fig. 241.



Wenn de ein undurchsichtiger Körper ist, welcher durch seine diffundirten Strahlen das Auge nöthigt, sich auf seine Entfernung zu akkommodiren, und wenn ausserdem die reflektirenden Punkte c vereinzelt vorkommen oder doch kein zusammenhängendes, gestaltvolles und scharfes, virtuelles Bild erzeugen; so wird sich das Auge auf das virtuelle Bild b' der tteren Punkte durchaus nicht genau akkommodiren können. Der Repunkt c wird demzufolge zwar etwas entfernter als der Körper de heinen, jedoch bei weitem nicht in der richtigen Entfernung. Ausser-

dem wird dieser Punkt vermöge der ungenauen Akkommodation des Auges ungenau, nämlich viel grösser erscheinen, als er ist.

Hierdurch motivirt sich in der Malerei die unverhältnissmässige Verstärkung der Reflexpunkte und Reflexlinien.

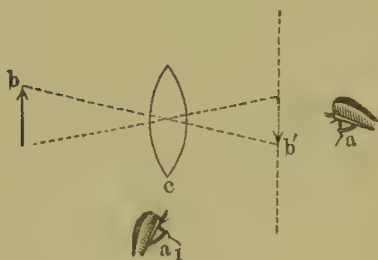
Ein sehr entfernter Körper wird, wenn er nur durch reflektirtes Licht sichtbar ist, immer entfernter erscheinen, als er ist: allein die Entfernung, in welcher das reflektirte Licht sich zu zusammenhängenden Bündeln vereinigt, überschreitet schon die Maximalsehweite des Auges oder liegt ihr doch so nahe, dass von einer Täuschung über die Entfernung keine Rede mehr sein kann.

Das eigentliche Sehen oder Erkennen auf die gewöhnlichen (nahen) Entfernungen erfordert also diffundirtes Licht. Solches Licht kann mit hinreichender Stärke (wenn wir von Selbstleuchtern abstrahiren) nur von undurchsichtigen (vornehmlich also nur von starren) Körpern ausgehen, weil durchsichtige Körper von dem auf sie fallenden Lichte zu viel hindurchlassen, also zu wenig diffundiren.

Die Undurchsichtigkeit wirkt aber als solche ebenfalls günstig, indem sie den störenden Durchgang der Strahlen anderer Objekte durch das Hauptobjekt verhütet und dadurch die Akkommodation und die Aufmerksamkeit des Auges auf dieses Hauptobjekt erhöht.

Um hiernach ein wirkliches optisches Bild von einem Objekte, also die Figur b' (Fig. 242), welche die Brennpunkte der Strahlenbündel des Objektes b enthält, aus deren einzelnen Punkten also Strahlenbündel wie aus einem wirklichen Objekte hervortreten, gut zu sehen, muss dasselbe entweder in einem dunkelen und von allen anderen sichtbaren Objekten freien Raume dargestellt werden, wie es im Fernrohre geschieht, oder es muss wenigstens die Wirkung jedes anderen Objektes abgehalten werden, wie es beim gewöhnlichen Gebrauche der Lupe geschieht, wo sich das Auge ganz nahe vor der Linse und die Linse ganz nahe vor dem Objekte befindet. Wirken andere Objekte mit ein; so erschwert Diess häufig die Akkommodation. Betrachtet man z. B. durch eine Lupe c ein entferntes Objekt b, welches sein Bild b' nahe vor die Lupe wirft; so wird sich das in einiger Entfernung befindliche Auge a immer auf die Fassung und die Linse der Lupe c, welche durch das Bild b' hindurch sichtbar bleibt, zu akkommodiren suchen, also das Bild b' nicht am richtigen Orte, auch nicht ganz scharf sehen: akkommodirt man das Auge näher; so zeigt sich sofort eine erheblich grössere Schärfe des Bildes b'.

Fig. 242.



Kann man nun die Wirkung anderer Objekte nicht abhalten, will man also das Bild b' im freien hellen Raume beobachten; so ist es häufig nützlich, durch die in diesem Bilde konvergirenden Strahlen die Diffusion eines undurchsichtigen Körpers zu erregen, also das Bild auf einem Schirme aufzufangen. Ist der Schirm durchscheinend; so kann auch das dahinter befindliche Auge ein hinreichend intensives Bild b' sehen:

der Schirm undurchsichtig; so kann das Bild nur von einem davor ndlichen Auge a_1, wie in der Kamera obskura gesehen werden und heint hier immer deutlicher, als durch einen durchscheinenden Schirm.

Ein wirkliches optisches Bild, welches durch einen Schirm in ein ffusionsbild verwandelt wird, kann nun auch noch durch Kontrast oben werden, wenn man dem Schirme die geeignete Farbe giebt. Ein les Bild wird man auf einen dunkelen Schirm, ein dunkeles Bild einen hellen Schirm werfen.

Einem Spiegelbilde und einem virtuellen Bilde kann man auf tere Weise durch Kontrast meistens nicht zu Hülfe kommen, weil der , wo dieses Bild zu stehen scheint, unzugänglich ist oder weil, n er durch durchsichtige Körper zugänglich wäre, die von dort aus- enden Strahlen nicht normal ins Auge gelangen können.

§. 45.

neinbare Grösse, Entfernung, Farbe und Stellung der Sonne, des Mondes und der Sterne. Funkeln der Sterne.

1. Scheinbare Grösse der Sonne und des Mondes. Sonne und nd erscheinen uns nicht immer von gleicher Grösse. Häufig überrascht die ungewöhnliche Grösse, welche diese Gestirne beim Auf- und Unter- ge annehmen. Diese bis jetzt unerklärte Erscheinung giebt Gelegenheit nteressanten Anwendungen unserer in vorliegender Schrift vorgetrage- physiologisch-optischen Ansichten.

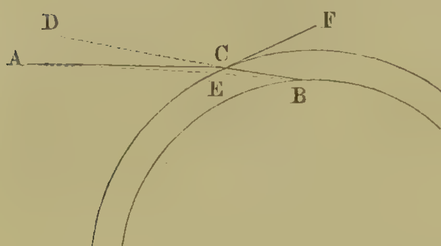
Zuvor bemerken wir, dass die scheinbare Grösse jener Sterne beim oder Untergange zwar nicht täglich dieselbe ist, also offenbar der augenblicklichen Beschaffenheit der Atmosphäre hinsichtlich des des, mit welchem sie auftritt, beeinflusst wird, dass jedoch unver- nbar die Erscheinung bei jedem Auf- und bei jedem Niedersteigen Gestirne in der Weise stattfindet, dass uns das Gestirn beim Auf- Untergange am grössten, in der Kulmination am kleinsten, über- t also umso grösser erscheint, je näher es dem Horizonte nt. Zuweilen nimmt der Durchmesser dieser Gestirne, wenn sie im zonte stehen, eine sehr auffallende Grösse an, welche das Doppelte Durchmessers erreicht, in welchem sie bei der Kulmination erscheinen.

2. Scheinbare Farbe der Gestirne. Ausserdem überrascht uns ig die Röthe von Sonne und Mond. Auch die Intensität dieser nung hängt von der zufälligen Beschaffenheit der Athmosphäre ab: ahmslos erscheinen uns jedoch diese Gestirne umso röther oder mehr in umso weniger brechbaren Farben, je tiefer sie ste- und umso blauer je höher sie stehen, sodass die allmähliche fernung vom Horizonte einem Übergange von der röth- en oder wenigstens gelblichen in die bläuliche Färbung pricht.

Denselben Farbenwechsel zeigt übrigens nicht bloss Sonne und Mond sondern jedes Gestirn.

3. Scheinbarer Ort der Gestirne. Dass wir vermöge der atmosphärischen Refraktion jedes Gestirn in einer falschen Richtung, nämlich höher sehen, als es wirklich steht, ist eine bekannte Thatsache. Dieselbe hat eine rein physikalische, keine physiologische Ursache. Denn wenn in Fig. 243 A ein Stern, B das Auge und E die Grenze unserer Atmosphäre ist, welche wir für den Augenblick einmal als ein gleichförmig dichtes Medium ansehen wollen; so erleidet der von A ausgehende Lichtstrahl AC beim Eintritte in die Atmosphäre eine Brechung, für welche der Exponent $n = 1{,}000294$ ist. Der Stern A scheint also nicht in der Richtung BA, sondern in der Richtung BC des gebrochenen Strahles zu stehen. Diese Brechung giebt dem Sterne einen etwas höheren Stand D.

Fig. 243.



In Wirklichkeit wird die Atmosphäre nach aussen immer dünner. Diess ändert das Phänomen nicht prinzipiell, sondern nur graduell. Man kann sich jetzt die Erde von konzentrischen Schichten bis zu jeder beliebigen Ausdehnung umgeben denken, welche eine sukzessiv abnehmende Brechbarkeit haben. Der Strahl gelangt dann, nachdem er in die Atmosphäre eingetreten ist, auf krummlinigem Wege EB ins Auge und die Tangente BD dieser Kurve zeigt alsdann die scheinbare Richtung an, in welcher wir den Stern sehen.

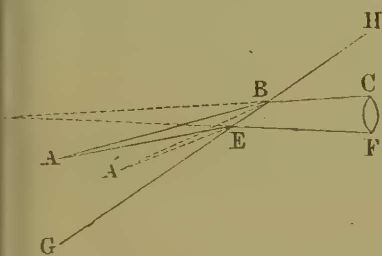
4. Einfluss der allmählichen Abnahme der Dichtigkeit der Atmosphäre auf den scheinbaren Ort der Gestirne. Wäre die Atmosphäre eine unpressbare Flüssigkeit von gleichförmiger Dichtigkeit wie das Wasser; so würde die Richtung CB, in welcher ein eintretender Strahl AC gebrochen wird, ganz wesentlich von der augenblicklichen Richtung der freien Oberfläche dieses Mediums im Punkte C abhängen. Die Bewegungen in diesem Fluidum durch Wind, Wellenschlag, Ebbe und Fluth u. s. w. würden also einen Stern in ewigen Schwankungen erscheinen lassen. In der That scheint jedes Objekt auf dem Boden eines bewegten Gewässers zu schwanken und sich zu verzerren. Die Deutlichkeit des Blickes in das sonst ganz klare und hinreichend erleuchtete Meer schwindet daher sehr auffallend mit der kleinsten Bewegung seiner obersten Schichten und nimmt bei eintretender Ruhe merklich zu. In der Atmosphäre aber vernichtet die Elastizität, welche dem Fluidum eine nach oben abnehmende Dichtigkeit und eine grosse Höhe verleiht, jenen Effekt der partiellen Bewegungen. Denn alle diese Bewegungen haben keine namhaften Dichtigkeitsveränderungen zur Folge, lassen also das Gesetz der sukzessiven Verdünnung nach oben in konzentrischen Schichten fortbestehen und je höher die Schicht liegt, je dünner sie also ist, desto geringer ist der Einfluss,

›lchen eine Veränderung ihrer Oberfläche auf die Brechung des Lichtes ssern kann.

Demnach verdanken wir den ruhigen Anblick des nächtchen Sternenhimmels und die Möglichkeit astronomischer ›eobachtungen lediglich der Elastizität des Luftkreises. Das ›llste und klarste Meer würde uns wegen der Beweglichkeit iner oberen Schichten keinen Blick in seine Tiefe gestatten.

5. Untersuchungen über den möglichen Einfluss der atmo›härischen Strahlenbrechung. In Fig. 244 sei A ein leuchtender ınkt, CF das Auge und EB die Oberfläche eines homogenen Fluidums, welchem sich das Auge befindet. AB sei ein Strahl, welcher nach BC gebrochen wird. Für diesen Strahl sei die Entfernung $AB = a$, der Winkel $ABE = \alpha$, der Winkel $CBH = \beta$, und der Brechungskoeffizient $= n$. AE sei ein unendlich benachbarter Strahl, für welchen also der Winkel $AEG = \alpha + \partial\alpha$ und der Winkel $BAE = \partial\alpha$ ist. Verlängert man die Linien CB und FE bis zu ihrem Durchschnitte in D; so ist Winkel $DBE = \beta$, Winkel DEG $= \beta + \partial\beta$, Winkel $BDE = \partial\beta$ und die Entfernung DB sei x. Man ıdet leicht

Fig. 244.



$$\cos\beta = \frac{\cos\alpha}{n}$$

lglich

$$\partial\beta = \frac{1}{n}\,\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}\,\partial\alpha = \frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}}\,\partial\alpha$$

Ferner hat man in dem Dreiecke ABE

$$BE = \frac{a\sin\partial\alpha}{\sin(\alpha+\partial\alpha)} = \frac{a\,\partial\alpha}{\sin\alpha}$$

ıd in dem Dreiecke DBE

$$BE = \frac{x\sin\partial\beta}{\sin(\beta+\partial\beta)} = \frac{x\,\partial\beta}{\sin\beta}$$

lglich

$$x = \frac{\sin\beta}{\sin\alpha}\cdot\frac{\partial\alpha}{\partial\beta}\cdot a$$

i.

$$x = \frac{n^2 - \cos^2\alpha}{n\sin^2\alpha}\cdot a$$

Wäre die Oberfläche der Erde keine Kugelfläche, sondern eine horiıntale Ebene, also die Luftschichten der Atmosphäre, deren Dichtigkeit it der Höhe abnimmt, sämmtlich von parallelen Ebenen begrenzt; so ürden die vorstehenden Formeln volle Gültigkeit haben, wenn man darin r n den Brechungskoeffizienten der untersten Luftschicht setzt,

gleichviel wie sich die Brechbarkeit der oberen Schichten mit der Dichtigkeit ändert.

Diese Annahme der ebenen Horizontalschichtung ist einigermaassen zutreffend, wenn der Stern A nicht gar zu tief steht. Für die ganz tiefen Stellungen, also namentlich für den Auf- und Niedergang, darf die Krümmung der Luftschichten nicht mehr vernachlässigt werden. Dieselbe vermindert die Ablenkung: ihre Berücksichtigung setzt aber die Kenntniss der Höhe der Atmosphäre und des Abhängigkeitsgesetzes, welches zwischen der Dichtigkeit und der Brechbarkeit der Luft besteht, voraus. Das letztere Gesetz ist wohl näherungsweise bekannt, die Höhe der Atmosphäre und die Dichtigkeit der oberen Schichten aber nicht. Wenn man nun hierfür, ohne das wahre Resultat sehr zu beeinträchtigen, auch wohl die Annahme substituiren könnte, dass sich die Atmosphäre mit abnehmendem Drucke ins Unendliche verdünnte; so hat die Ausführung der Rechnung doch keinen grossen Nutzen für unsere Zwecke, indem man das Nöthige schon aus den vorstehenden Formeln schliessen kann.

Nach der Formel für x ist die Entfernung DB immer grösser als AB; der Einfluss der atmosphärischen Refraktion in Beziehung auf die scheinbare Entfernung der Gestirne ist also der, dass diese Entfernung gegen die wirkliche vergrössert wird. Bei der Kulmination, wo $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ist, wird die scheinbare Entfernung der wirklichen gleich. Je tiefer der Stern steht, je kleiner α ist, desto mehr übertrifft die scheinbare Entfernung die wirkliche und würde für ein aus lauter ebenen Schichten bestehendes atmosphärisches Fluidum beim Auf- oder Untergange des Sternes sogar unendlich gross werden. Diese Vergrösserung der Entfernung sinkt zwar vermöge der Kugelgestalt erheblich herab: wenn sie aber wirklich jenes exzessive Maass behielte; so würde sie doch nicht die scheinbare Vergrösserung der Sonne und des Mondes erklären. Allerdings würde sich das Auge auf jedes Gestirn zu weit und zwar umso weiter akkommodiren, je tiefer dasselbe steht: mit dieser Akkommodation auf eine zu grosse Entfernung müsste eine physiologische Täuschung über die Grösse verbunden sein und das Gestirn müsste uns umso grösser erscheinen, je tiefer es steht. Wenn man aber erwägt, das der Sehwinkel, unter welchem die von dem Umfange eines in A stehenden Objektes vermöge der Brechung bei GH in das Auge F dringen, nicht vergrössert, sondern sogar ein wenig verkleinert wird, dass also eine Vergrösserung des Netzhautbildes nicht stattfindet; so könnte die Akkommodation auf zu grosse Entfernung unmöglich eine so erhebliche scheinbare Vergrösserung hervorbringen, wie sie an der Sonne und am Monde wahrgenommen wird. Denn die wirkliche Entfernung dieser Gestirne übersteigt schon bei Weitem die Grenze der Maximalsehweite, auf welche das Auge noch reagirt, und für die Akkommodationsthätigkeit des Auges ist es ganz gleichgültig, ob diese Entfernung ins Unendliche wächst oder unverändert bleibt. Auf so grosse Entfernungen entscheidet von den geometrischen Eigenschaften des Objektes nur noch die Grösse des scheinbaren Sehwinkels oder des Netzhautbildes über die scheinbare Grösse des Objektes, und da

ieser Winkel sich nicht ändert; so kann in der scheinbaren Vermehrung er Entfernung nicht die Ursache der Täuschung über die scheinbare rösse liegen.

Die scheinbare Vergrösserung der Gestirne geht auch mit dem heinbaren Farbenwechsel so sehr Hand in Hand, dass beide Erscheiungen als die Wirkung derselben Ursache oder als zwei durch ein Naturesetz verbundene Phänomene betrachtet werden müssen.

Wollte man den Farbenwechsel aus der atmosphärischen Reaktion zu erklären versuchen; so könnte man folgende Betrachng anstellen. In §. 2 No. 11 ist den gewöhnlichen Annahmen zuwider hauptet und nachgewiesen worden, dass die Luft Dispersionskraft sitzt. Ist daher n der Brechungskoeffizient der rothen und n' der r violetten Strahlen, also $n' > n$; so kann derjenige Punkt des bjektes, welcher den mit rothen Strahlen gefüllten Kegel CDF mit ioletten Strahlen füllen soll, nicht derselbe Punkt A sein, welcher den then Strahlenkegel BAE aussendet; es muss vielmehr ein Punkt A' in, welcher tiefer als A liegt. Setzt man den Winkel $A'BE = \alpha'$ und n Winkel $BA'E = \partial\alpha'$, so muss man nach den obigen Formeln

$$\cos\alpha' = n' \cos\beta$$

$$\partial\alpha' = \frac{n' \sin\beta}{\sin\alpha'}\,\partial\beta$$

so, wenn man diesen Werth von $\partial\alpha'$ durch den obigen Werth von $\partial\alpha$ vidirt,

$$\partial\alpha' = \frac{n'}{n}\,\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'}\,\partial\alpha$$

ben.

Da $n' > n$ und $\alpha' < \alpha$ ist; so ist $\partial\alpha' > \partial\alpha$, d. h. der Winkel $A'E$ des violetten Kegels ist grösser als der Winkel BAE des rothen egels. Es mischen sich also vermöge der atmosphärischen Refraktion it den rothen Strahlen mehr gelbe und noch mehr blaue u. s. w., am eisten violette. Sonne und Mond müssten hiernach je tiefer sie stehen, cht umso röther, sondern umso blauer erscheinen. Hiervon findet er gerade das Entgegengesetzte statt.

Wir sehen, die atmosphärische Refraktion vergrössert die scheinbare ntfernung, während uns doch die Gestirne zu nahe erscheinen; sie vereinert den scheinbaren Sehwinkel, während derselbe in der That grösser ird; sie färbt die Gestirne blauer, während sie röther erscheinen; ausserem sind ihre Effekte äusserst schwach, während die scheinbaren Veränrungen der Entfernung, Grösse und Farbe sehr bedeutend sind. Aus lem Diesen folgt, dass die atmosphärische Refraktion durchaus nicht die rsache der in Rede stehenden Phänomene sein kann.

6. Die Erleuchtung der Atmosphäre als Grund des Farbenechsels der Gestirne. Im Vorstehenden haben wir gesehen, dass die mosphärische Refraktion, also die Ablenkung, welche die Richtung der ichtstrahlen beim Eintritte und Durchgange durch die Atmosphäre erleien, der Grund der Täuschung über die Stellung oder Höhe der Sterne

ist, dass sie aber nicht die Ursache der scheinbaren Entfernung, Grösse und Farbe derselben sein kann.

Die letztere Ursache finde ich lediglich in der allseitigen Verbreitung oder Diffusion, welche das Licht nach §. 2 No. 4 und 6 beim Durchdringen eines physischen Körpers erleidet, also mit anderen Worten, in dem Leuchten der Atmosphäre, welches durch die Strahlen jener Gestirne erregt wird.

Ich habe mich schon an jenem Orte darüber ausgesprochen, dass durch die Impulse eines Lichtstrahles vorzugsweise der natürliche Schwingungszustand des davon getroffenen Körpertheilchens oder dessen natürliche Farbe hervorgerufen wird, wenn der Schwingungszustand jenes Lichtstrahles nicht zu sehr von dem natürlichen des Körpers abweicht oder nicht zu intensiv ist. Je stärker der erregende Strahl ist, desto mehr mischen sich seine Farben unter die natürlichen des erregten Körpers, verändern also das Aussehen des Letzteren.

Hiernach erscheint uns nun die reine Luft in ihrer natürlichen blauen Farbe, wenn dieselbe von schwachem oder indirektem Sonnenlichte erleuchtet wird. Ein direkter Sonnenstrahl, welcher durch die Luft in unser Auge tritt, kann wegen seiner übermässigen Intensität nicht blau, sondern nur weiss, mit einem unmerkbaren Anfluge von blau erscheinen. Ein direkter Mondstrahl, welcher viel schwächer ist als ein Sonnenstrahl, wird zwar durch die Luft immer noch wenig, aber doch schon erheblich mehr blau gefärbt, als ein direkter Sonnenstrahl. Der Mond in reiner Luft, besonders im Zenith, erscheint weit weniger gelblich als die Sonne. Namentlich erscheint die bei Tage über dem Horizonte stehende Mondscheibe viel mehr bläulich weiss als die Sonne und auch als der nächtliche Mond, weil bei Tage die Luft durch das indirekte Sonnenlicht noch stärker zum Leuchten in blauer Farbe gebracht wird. Die relative Schwäche des Mondlichtes im Vergleich zum Sonnenlichte ist offenbar ebenso wohl der Grund für die stärkere Veränderung der Farbe des Mondes durch die Atmosphäre, als auch für die geringere Erregung der Atmosphäre namentlich durch das zertreute Licht. Der schwache Mondschein kann nicht die blaue Farbe der Luft zur Erkennung bringen.

Die natürliche Farbe des reinen Wasserdunstes ist Orangeroth, ein ziemlich reines Roth, welches durch das erregende gelbliche Sonnenlicht dem Orange sich nähert. Bei schwacher Beleuchtung und wenn dieselben Strahlen auch noch blaue Luftschichten zu durchdringen haben oder wenn etwas Luft mit dem Wasserdunste gemischt ist, steigt diese Farbe zum Gelben hinauf. In der That liefert ja eine Mischung von orangefarbenem und blauem Lichte weisses Licht: durch die blaue Luft wird also die orangene Farbe des Wasserdunstes immer mehr neutralisirt. Je grösser der Antheil von Luft in diesem Gemische wird, desto mehr nähert sich die Farbe dem Blau der Luft. Immer behält die mit Wasserdunst gemischte Luft einen Zusatz von orangenem Lichte und Diess hat, da sich Orange und Blau zu Weiss ergänzen, den Erfolg, dass solche Luft nicht so tief blau wie reine, sondern heller blau erscheint. Demzufolge ist der nordische Himmel bleicher als der tropische und der Himmel am Horizonte bleicher als im Zenith.

Übrigens ist die Verbindung von Luft und Wasserdampf, da sich nur ne bestimmte, von der Temperatur abhängige Quantität des Letzteren it der Ersteren mischt, nicht als ein Gemenge, sondern als ein Geisch anzusehen, welches ähnlich wie Salzwasser oder Zuckerwasser seine esonderen Molekularkräfte äussert, also auch dadurch eine natürliche arbe empfängt, welche von der der Mischungsbestandtheile sich mehr ler weniger, im Ganzen jedoch nur unerheblich entfernt.

Im Zustande der Bläschen- und der Tropfenform ändert sich lbstredend die Farbe des Wasserdunstes. Sie zeichnet sich alsdann benders durch eine starke Absorption, das natürliche Resultat fortgetzter Brechungen in Wasserhüllen, aus, ertheilt also den Anhäufunen solcher Bläschen, dem Nebel, den Wolken die graue Farbe und die rössere oder geringere Undurchsichtigkeit.

Wenn der Wasserdunst in immer grösserer Masse sich entwickelt und sdann anfängt sich zu kondensiren, wenn also rother Wasserdunst mit sorbirenden Wasserbläschen oder Eisnadeln gemischt ist; so absorbiren ei fortschreitender Kondensation die Letzteren immer mehr diejenigen trahlen, welche nicht der natürlichen Farbe des zum Leuchten geachten Wasserdunstes angehören, weil ja diese Strahlen schon mit zuehmender Verdichtung des Wasserdunstes schwächer, also mit zunehender Kondensation umso leichter verschluckt werden. Unter solchen mständen erscheint der Wasserdunst in seiner wahren rothen Farbe: es t die Farbe, welche die Sonne zeigt, wenn sie sich in die graue Dunsthicht einsenkt, welche bei wenigen Kältegraden zur Zeit des Sonnenunrganges die mit Schnee bedeckte Landschaft einhüllt.

Der Wasserdunst erscheint viel intensiver gefärbt als die Luft. egen das Leuchten des Abend- und Morgenroths ist die blaue Farbe des immels nur schwach zu nennen. Der Wasserdunst zerstreut das Licht lso stärker, vernichtet oder absorbirt aber demzufolge auch ehr davon.

In den unteren Schichten der Atmosphäre, wo die Luft dichter t, befindet sich schon desshalb mehr Wasserdunst als in den oben. Allein viel wichtiger für unser Phänomen ist es, dass die Feuchgkeit des Erdbodens bei beginnender oder fortschreitender Verdamfung des Wassers in den unteren Schichten immer weit mehr Wasserunst anhäuft, welcher erst allmählich in die Höhe steigt, um sich über ie ganze Atmosphäre zu vertheilen und die unteren Schichten zu entsten. Ebenso erzeugt häufig die Kondensation des Wasserdunstes zu egen in den oberen Regionen dasselbe Verhältniss in den unteren, indem ie niederfallenden Wassertropfen hier zu verstärkter Verdunstung Veranlassung geben. Da nun ausserdem der Weg eines von einem Gestirne ommenden Lichtstrahles durch die Atmosphäre umso länger ist, je tiefer as Gestirn steht; so hat ein solcher Strahl bei dieser Stellung des Gestires den längsten Weg in einem Medium zurückzulegen, welches den eisten Wasserdunst enthält.

Der Wasserdunst erscheint hiernach als die alleinige Ursache der ötheren Färbung, welche alle Gestirne, Sonne, Mond und Sterne, eim Auf- und beim Untergange annehmen. Der Grad dieser Färbung ängt selbstverständlich von dem Maasse ab, in welchem der Wasserdunst

die Atmosphäre erfüllt. Selten ist diese Farbe hoch orangeroth; meistens nur röthlich gelb. Beim Aufsteigen geht dieselbe allmählich in Gelb und schliesslich in das gelbliche Weiss über. Das natürliche Licht mancher Fixsterne ist übrigens nicht gelblich weiss, sondern hat den Anflug irgend einer anderen Farbe, in welchem Falle sich beim Aufsteigen des Sternes immer mehr diese Farbe herausstellt.

Je röther Sonne oder Mond beim Auf- oder Untergange erscheinen, desto schwächer ist ihr Licht, weil nach Obigem mit der grösseren Diffusion immer eine grössere Schwächung des direkten Strahles verbunden ist. Beim Aufsteigen erscheint die Sonnen- und Mondscheibe allmählich immer glänzender und intensiver.

Häufig wird die Ansicht ausgesprochen, der Wasserdunst sei durchsichtiger als die Luft oder verleihe der Luft bei seiner Vermischung mit derselben einen höheren Grad von Durchsichtigkeit. Die Begründung dieser Annahme wird in der grösseren Deutlichkeit gefunden, mit welcher entfernte Gebirge bei gesättigter, dem Regenwetter vorhergehender Luft erscheinen.

Diese Meinung theile ich nicht: der Wasserdunst ist weit weniger durchsichtig als die Luft. Diess geht daraus hervor, dass die Luft von den direkten Sonnenstrahlen niemals, auch nicht beim tiefsten Stande der Sonne, wo der Weg durch die Luft am längsten ist, so viel zum Selbstleuchten aufnimmt oder diffundirt, dass dadurch ihre Leuchtkraft grösser würde, als die Intensität der unverändert durchgehenden Sonnenstrahlen. In der direkten Richtung eines Sonnenstrahles überwiegt das gelblich weisse Sonnenlicht stets die blaue Farbe der Luft: die Sonne erscheint niemals blau. Noch nicht einmal der viel schwächere Mond erscheint blau: die Luft kann ihm nur ein bleicheres Ansehen verleihen, als der Sonne. Damit die aufgehende Sonne in reiner Luft blau erscheinen könnte, müsste die Atmosphäre wohl unendlich viel höher oder dichter sein. Der Wasserdunst dagegen diffundirt so viel Licht, dass seine natürliche Farbe die Intensität des unverändert durchgehenden Lichtes überwiegen kann, sodass alsdann die Sonne oder der Mond roth erscheinen. Durch Wasserdunst gesehen ist auch immer die Intensität des Sonnenlichtes erheblich schwächer, als durch Luft gesehen.

Je mehr des erregenden Lichtes aber ein Körper diffundirt oder in seine natürliche Farbe verwandelt, desto mehr Licht geht auch durch Absorption verloren und desto weniger Licht geht aus diesen zwei Gründen unverändert hindurch, desto undurchsichtiger ist derselbe also.

Die grössere Klarheit entfernter Gebirge bei feuchter Luft erklärt sich auch nicht durch die grössere, sondern durch die geringere Durchsichtigkeit des Wasserdunstes. Bei reiner Luft ist nämlich der Glanz des Himmels und die aus der grossen Durchsichtigkeit der Luft entspringende starke Reflexion aller uns umgebenden Gegenstände ein zu starker Reiz für das Auge, welcher Blendung verursacht, jedenfalls aber namentlich die Akkommodation auf grosse Entfernungen erschwert, indem nach §. 26 No. 3 Helligkeit die Akkommodationsanstrengung erhöht, also der Abflachung und Verdünnung der Linse für eine grosse Sehweite hinderlich ist. Demgemäss ist diese allseitige grosse Hellig-

ein Hinderniss für deutliches Sehen (§. 17 No. 6): bei genügender gerung der Helligkeit, wie sie der nordische Turist in südlichen Gegen- antrifft, kann die Beeinträchtigung der Sehkraft dem Zustande des lindens nahe kommen.

Die feuchte Luft, weil sie weniger durchsichtig ist, vermindert die nge des durch die Atmosphäre dringenden Lichtes, schwächt aber och höherem Grade das von den erleuchteten Gegenständen reflekte Licht, entlastet also das Auge von zu starkem Reize. Hierdurch t das Auge befähigt, sich auf entfernte Gegenstände besser zu akkomliren und demgemäss sie deutlicher zu sehen.

Selbst in reiner Luft sieht man entfernte Gegenstände, wie Thürme Berge deutlicher, wenn die Sonne durch eine Wolke verdunkelt t, ja sogar schon dann, wenn man sich selbst in den Schatten stellt. Erhellung des fixirten Objektes, wenn dasselbe keinen übersigen Sehwinkel einnimmt, und wenn kein Übermaass von Lichtstärke tfindet, befördert die Deutlichkeit; Erhellung der Umgebung dage- beeinträchtigt dieselbe schon allein in Folge der Kontrastwirıg. Demgemäss ist auch Verdunklung des fixirten Objektes für die tlichkeit desselben ungünstig; Verdunklung der Umgebung aber gün- Bei der Verdunklung der Sonne findet nun zwar gleichzeitig Verdlung des Objektes und der Umgebung statt: allein für entfernte kte ist die Verdunklung der grosssen leuchtenden Umgebung eine wiegend günstige Veränderung.

7. **Der Abend- und Morgenhimmel. — Dämmerung.** Es ist n bemerkt, dass Abend- und Morgenroth der natürlichen Farbe Wasserdunstes in der Atmosphäre seine Entstehung verdanken und dass sowohl eine Anhäufung dieses Dunstes, als auch der verlängerte g durch die unteren Schichten, welche der Strahl eines tief stehenden irnes nimmt, erforderlich ist, um eine lebhaft orangerothe Färbung orzubringen. Die Zerstreuung oder Ablenkung des Lichtes von direkten Fortpflanzungsrichtung, welche mit der Verbreitung des Lichn einem physischen Körper verbunden ist und dessen Erleuchtung natürliche Farbe zur Erscheinung bringt, erklärt aber auch die gen interessanten Erscheinungen des Abend- und Morgenhimmels.

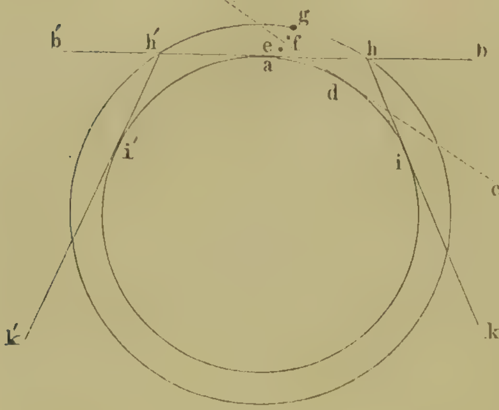
Nur das Sonnenlicht hat die nöthige Stärke, um ein lebhaftes d- oder Morgenroth hervorzubringen. Der Mond vermag Diess nicht. Da die Intensität der abgelenkten Strahlen mit dem Ablenkungskel erheblich abnimmt; so ist ein lebhaftes Abend- oder Morgenroth bei tiefem Stande der Sonne möglich. Ausserdem können nur die ten Schichten der Athmosphäre feurig erscheinen: das Roth verimmt bei wolkenlosem Himmel nach oben in mässiger Höhe.

Wenn sich Wolken am gerötheten Abendhimmel befinden; so ernen die tief stehenden oft viel röther, als die zwischenliegenden räume, weil sie Körper darstellen, welche wegen Anhäufung von Bläs- zwar weniger Licht durch ihr Inneres lassen, aber wegen der in n konzentrirten Feuchtigkeit mit Wasserdunst so geschwängert dass sich an ihrem Umfange viel intensivere Farben bilden können.

Nachdem sich die Sonne b unter den Horizont ab (Fig. 245 a. f. S.)

nach c gesenkt hat, empfängt die unter der Linie cd stehende Wolke keinen direkten Lichtstrahl mehr, erscheint also grau. Dagegen erscheint die in der Linie cd oder wenig darüber stehende Wolke f feurig roth. Diese Röthe nimmt mit der Höhe ab, sodass die Wolke g vielleicht gelb oder weiss erscheint, weil mit der stärkeren Ablenkung, wie schon erwähnt, eine Verminderung der Intensität verbunden ist. Die Region der höchsten Erröthung der Wolken, wenn die Sonne unter dem Horizonte steht, liegt also über dem Horizonte und zwar umso höher, je tiefer die Sonne steht.

Fig. 245.



Vor dem Aufgange der Sonne erröthen also zuerst die höchsten Wolken und nach dem Untergange verliert sich das letzte Leuchten in der Höhe.

An dieser Stelle werden auch einige Bemerkungen über die Dämmerung Platz finden. Die Dämmerung ist das Resultat der *Zerstreuung* des Lichtes durch die Atmosphäre oder der *Erleuchtung der Atmosphäre*.

Solange die Sonne über dem Horizonte ab steht, kann sie *direkte* Strahlen in das Auge a senden: es herrscht *Tageshelle*. Nachdem die Sonne untergegangen ist, können nur solche Strahlen nach a gelangen, welche durch Diffusion von der geraden Fortpflanzungsrichtung abgelenkt sind. Ist h die äusserste Region der Atmosphäre, wo ihre Dichtigkeit noch eine wahrnehmbare Diffusion gestattet, und ist hik eine Tangente an der Erdkugel; so werden, solange die Sonne innerhalb des Winkels bhk steht, immer noch solche Strahlen in das Auge gelangen können, welche nur *einmal* durch Diffusion abgelenkt sind: während dieser Periode herrscht die *Abenddämmerung*. Andererseits beginnt die *Morgendämmerung*, wenn die Sonne von unten in den Winkel $k'h'b'$ eintritt.

Wenn die untergegangene Sonne die Linie hik überschreitet, hört die Dämmerung auf: es beginnt alsdann aber eine *ebenso lange* Periode, in welcher nur noch Strahlen in das Auge gelangen können, welche *zweimal* durch Diffusion abgelenkt sind. Diese Dämmerung zweiten Grades ist in dem Verhältnisse zur Dämmerung ersten Grades schwach, wie diese Dämmerung zur Tageshelle. Das menschliche Sehorgan reagirt nur wenig darauf. Indessen ist unser Horizont zu keiner Zeit der Nacht *absolut ohne Licht* und für manche *Thiere* bedingt dieses schwache Licht sogar den *normalen* Nervenreiz.

Aus der Dauer der Dämmerung kann man nicht mit *Biot* auf das *Vorhandensein einer freien Oberfläche der Atmosphäre*, sondern nur auf die Höhe derjenigen höchsten Schicht h schliessen, in welcher die Luft noch eine wahrnehmbare Diffusion des Lichtes hervorbringt. Diese Schicht hat etwa eine Höhe von 6 Meilen. Die Gesammthöhe der

ɔsphäre, gleichviel ob eine geschlossene Oberfläche vorhanden ist (was dings wahrscheinlich ist) oder nicht, muss viel grösser sein.

Je mehr Wasserdunst die Luft enthält, desto lebhafter ist die ısion, desto stärker also das Dämmerlicht.

Man kann sich eine Intensität der Sonne oder eine Diffu-ıskraft der Atmosphäre denken, bei welcher zu jeder Zeit der ıt eine namhafte Helligkeit herrschte.

Das Wasser absorbirt mehr Licht als die Luft, diffundirt demgemäss auch mehr. Hieraus folgt, dass es in der Tiefe des Meeres bei Tage nicht so hell ist, als auf der Feste, dass dagegen die Dämmerung im ·e stärker und länger sein wird.

Wo Brechung stattfindet, ist auch immer Reflexion vorhanden. Brechung, welcher die Sonnenstrahlen beim Durchgange durch die ɔsphäre in Folge des Überganges zwischen den Schichten von ;chiedener Dichtigkeit erleidet, ist daher auch von einer entspre-den Reflexion begleitet. Die Wirkung dieser Reflexion kann erst ·nehmbar werden, wenn das Gesammtlicht in der Atmosphäre sich er-ıigt, und wenn das Auge so steht, dass die am Umfange der konzen-hen Schichten reflektirten Strahlen in dasselbe gelangen können. Bei-findet nur nach Sonnenuntergang oder vor Sonnenaufgang statt und ıgt die Gegendämmerung an der dem Gestirne entgegengesetzten des Himmels.

Nach den Betrachtungen in No. 5 ist auch klar, dass das Mischungs-ältniss des Dämmerlichtes in Beziehung auf seine farbigen Be-ltheile mit der Höhe über dem Horizonte in Folge der Dispersion Atmosphäre variirt, dass also die Dämmerung mit Farben-heinung verbunden ist.

8. **Erklärung der scheinbaren Grösse und Entfernung der tirne.** *a* sei ein leuchtender Punkt, ein Stern, welcher einen Licht-ıl *abh* in das Auge *h* sendet (Fig. 246). Dieser Lichtstrahl geht von *b* aus durch die Atmosphäre. In jedem Punkte *b*, *c*... seiner Bahn in der Atmosphäre sendet dieser Strahl Seitenstrahlen wie *bc*, *bd* *ef*, *eg* aus. Je intensiver der Strahl noch ist, je weniger er durch Absorption geschwächt ist, und je dichter oder diffundirender das zerstreuende Mittel ist, desto grösser ist der Winkel *cbd*, welchen die noch gut wahrnehmbaren Seitenstrahlen miteinander bilden.

Fig. 246.



Fig. 247.

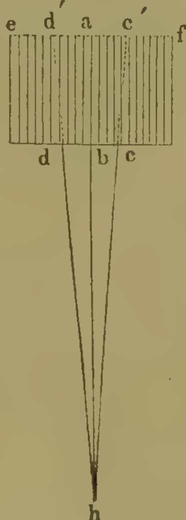
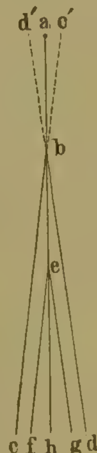


Fig. 248.



Noch viel wirksamer wird die Diffusion der

Atmosphäre, wenn es sich nicht um einen einzigen Strahl *ah* oder um einen einzigen leuchtenden Punkt *a*, sondern um ein paralleles Strahlenbündel von beliebiger Breite *ef* (Fig. 247) handelt, wie es ein sehr entfernter Stern es aussendet. Ist dann *cd* eine diffundirende Schicht und *chb* = *dhb* der grösste Ablenkungswinkel der für das Auge *h* noch gut wahrnehmbaren Diffusionsstrahlen; so wird ein konisches Strahlenbündel *chd* in das Auge treten.

In ähnlicher Weise wie die Schicht *cd* wirkt jede andere Schicht des diffundirenden Mediums. Das Gesammtresultat besteht hiernach in Folgendem. Wenn *gi* (Fig. 248) die Weite der Pupille eines Auges ist; so dringt ein paralleles Bündel Hauptstrahlen vom Querschnitt *gi* = *ab* in dasselbe ein. Ausser diesem Bündel tritt aber noch ein konisches Bündel Diffusionsstrahlen *cgid* oder vielmehr es treten schräge Strahlenbündel, deren Hauptaxen bis zu dem Winkel *cgi* gegen die Augenaxe geneigt sind, in das Auge. Diese Diffusionsstrahlen erzeugen also dieselbe Wirkung wie ein relativ nahes und grosses leuchtendes Objekt *cd*. Die Diffusionsstrahlen haben zwar eine geringere Intensität, als die direkten, und ihr Kegel *cgid* verschwimmt auch nach den Seiten *gc*, *id* hin, während das Hauptbündel durch die Linien *ag*, *bi* scharf begrenzt bleibt: gleichwohl sind dieselben wirksam genug, um das Auge zu nöthigen, sich auf das Hauptobjekt *ab* falsch zu akkommodiren. Es handelt sich also um die Konkurrenz der leuchtenden Atmosphäre *cd* mit dem Gestirne *ab*. Die Wirkung betrifft vornehmlich zwei Eigenschaften des Objektes, die scheinbare Entfernung und die scheinbare Grösse.

Was zunächst die Entfernung betrifft, auf welche die leuchtende Atmosphäre *cd* das Auge nöthigt sich zu akkommodiren; so wird dieselbe viel kleiner sein als *ga* und innerhalb der Dimensionen der vor uns befindlichen Landschaft liegen.

Demzufolge erscheint uns das Gestirn näher und zwar umso näher, je leuchtender die Atmosphäre wird und je mehr diese Leuchtkraft das direkte Licht des Gestirnes überbietet. Beim Auf- und Untergange, wo der Weg der Lichtstrahlen in der Atmosphäre länger, also die Atmosphäre leuchtender und demzufolge das direkte Licht schwächer ist, erscheint also die Sonne, der Mond und jeder Stern näher, als bei höherem Stande, und zwar umso näher, je mehr die Luft mit Wasserdunst gefüllt ist, welcher zugleich die Gestirne röther erscheinen lässt. Nebel dagegen, welcher nur Licht absorbirt, ohne leuchtend zu werden, thut diese Wirkung nicht: im Gegentheil entsteht durch allgemeine Verdunklung der Effekt der Entfernung (§. 26).

Was jetzt die scheinbare Grösse des Objektes *ab* betrifft; so hat die Akkommodation auf eine zu kleine Entfernung nach dem Sehplane allerdings scheinbare Verkleinerung zur Folge. Diese Verkleinerung kann jedoch im vorliegenden Falle von keiner Erheblichkeit sein, solange der scheinbare Sehwinkel des Objektes nahezu sich gleich bleibt. Denn die falsche Sehweite *gc*, auf welche sich das Auge akkommodirt, obgleich ungemein viel kleiner, als die wahre *ga*, ist doch immer absolut betrachtet eine sehr grosse und zwar eine so grosse, dass sie dem Maximum der Entfernung, auf welche das Auge noch reagirt, nahe kömmt, sodass über

scheinbare Grösse des Objektes der Sehwinkel in überwiegendem se entscheidet (§. 24 No. 14).

In der That verleiht das nähere Objekt *cd*, welches zugleich ein tendes Objekt von viel grösserem Sehwinkel *cgd*, als das tobjekt *ab* ist, der Linse, dem Glaskörper und der Netzhaut vermöge r Konkurrenz eine seinem Sehwinkel und seiner Leuchtkraft entsprele Wölbung und Dichtigkeit. Insbesondere stellt sich die diesem tel angehörige ellipsoidische Form ein (§. 24 No. 21 und §. 35 3), das Auge akkommodirt sich für das Objekt *ab* zu gross.

Scheinbare Vergrösserung des Objektes ist eine natürliche Folge r veränderten Akkommodation.

Diese Vergrösserung beruht, wie wir aus §. 24 wissen, theils auf der n die ellipsoidischere Form der Linse gesteigerten Aberration, theils der damit verbundenen Verschiebung des Kreuzungspunktes nach ., theils auf der Steilerstellung der wirksamsten Strahlen, überhaupt den verschiedenen Effekten, welche eine wirkliche Vergrösserung des hautbildes und eine wirkliche oder scheinbare Vergrösserung des inn Sehwinkels herbeiführen.

Zu diesen Effekten ist nun noch die der rothen Farbe des Wasinstes zu zählen. Die rothen Strahlen bewirken eine stärkere Wölbung Ränder der Linse (wie ich in §. 54 No. 11 näher nachweisen werde), ärken also die vorstehenden Wirkungen. Je röther also das Gestirn eint, desto grösser wird es unter sonst gleichen Umständen auch einen.

Zu dieser Veränderung der Linse gesellt sich noch eine ungewöhnliche eiterung der Pupille als Folge der Dämpfung, welche die allgene Helligkeit des uns umgebenden Raumes beim Untergange Sonne theils in Folge der Absorption des längeren atmosphärischen es, theils in Folge des schrägeren Einfallswinkels erfährt und welche bei höherem Stande der Sonne vorherrschenden empfindlichen Reiz itend vermindert. Die Erweiterung der Pupille hat aber gleichfalls inbare Vergrösserung im Gefolge (§. 24 No. 24).

Der Umstand, dass das Nebenobjekt, die Atmosphäre, kein per von bestimmter Entfernung und Form; sondern eine Masse ist, ie in jeder beliebigen Richtung wie z. B. *gc* nicht bloss einen einzi-, sondern eine unendliche Reihe von leuchtenden Punkten hat, ir das obige Phänomen von besonderer Wichtigkeit. Dieser Umstand ndert das Auge, das Nebenobjekt zu fixiren; derselbe schliesst also Kontrastwirkung mehr oder weniger aus und lässt vornehmlich nur uf der Induktion beruhende Konkurrenzwirkung in Thätigkeit 3 No. 7). Wäre die Atmosphäre ein fest begrenzter leuchtender Körso würde sie, indem sie vom Auge fixirt würde, kontrastirend en: das Gestirn *ab* würde dann zwar absolut näher, als es ist, doch entfernter als die Atmosphäre erscheinen; ebenso würde scheinbare Grösse unter der Kontrastwirkung der ausgedehnten Atphäre erheblich leiden, wenngleich es beim Obwalten der obigen Uren immer grösser erscheinen würde, als zu anderen Zeiten.

Wenden wir die vorstehenden Sätze auf die in Rede stehende Naturieinung an; so ergiebt sich Folgendes.

Je länger der Weg ist, welchen der Strahl ag durch die Atmosphäre zu nehmen hat, desto grösser, also desto wirksamer wird die leuchtende Masse der Atmosphäre. Die Gestirne erscheinen daher unter sonst gleichen Umständen beim Auf- und Untergange am grössten und in der Kulmination am kleinsten.

Je mehr durchsichtiger Wasserdunst sich in der Atmosphäre befindet, desto grösser erscheinen die Gestirne, namentlich beim Auf- und Untergange.

Da beim Auf- und Untergange der Sonne die Helligkeit derselben durch den langen Weg der Strahlen in der Atmosphäre, namentlich bei der Sättigung mit stark absorbirenden und dafür relativ leuchtender werdenden Wasserdünste, soweit geschwächt sind, dass die Pupille sich namhaft erweitert; so erhöht Diess die Wirkung der scheinbaren Vergrösserung.

Beim Aufsteigen der Sonne würde die zunehmende Intensität des Lichtes der scheinbaren Vergrösserung nicht ungünstig sein; das hellere Objekt würde vielmehr nach §. 26 No. 8 grösser erscheinen: allein Diess würde nur dann stattfinden, wenn die Helligkeit des Objektes nicht schon die am eben genannten Orte bezeichnete obere Helligkeitsgrenze überschritten hätte. Letzteres ist in der That der Fall; beim Aufsteigen der Sonne steigert sich nicht bloss die Intensität der direkten Sonnenstrahlen so sehr, dass sie bald für das Auge unerträglich werden, sondern die allgemeine Helligkeit des reflektirenden Gesichtskreises nimmt eine solche Helligkeit an, dass die Akkommodationsanstrengung erheblich wächst, die Augenaxe des in die Sonne blickenden Auges sich verlängert und die Pupille sich bedeutend verengt. Alle diese Ursachen bewirken aber scheinbare Verkleinerung (§. 24). Ausserdem muss man beachten, dass der Haupteffekt der scheinbaren Vergrösserung nicht in der absoluten Stärke der Helligkeit des Gestirnes, sondern in der relativen Stärke der Leuchtkraft der Atmosphäre, also in der relativen Schwäche der Helligkeit des Gestirnes gegen die der Atmosphäre liegt. Beim Aufsteigen der Sonne wird aber die zum Leuchten gebrachte Masse der Atmosphäre, welche allein das Phänomen erzeugt, immer weniger lang, verliert also immer mehr an Wirksamkeit gegenüber den direkten Sonnenstrahlen. Wenn die Atmosphäre auch durch die höher stehende Sonne intensiver erleuchtet wird; so werden doch die direkten Sonnenstrahlen noch in höherem Maasse verstärkt, sodass das Übergewicht der leuchtenden Atmosphäre sinkt.

Beim Aufsteigen des Mondes nimmt die Gesammthelligkeit des Gesichtsraumes nicht zu, sondern ab, weil das Tageslicht immer mehr verschwindet. In Folge dessen vergrössert sich die Pupille. Diess ist zwar scheinbarer Vergrösserung günstig: allein dieser Wirkung steht neutralisirend der soeben erwähnte Umstand entgegen, dass beim Aufsteigen des Mondes die Dicke und die Leuchtkraft der von den Mondstrahlen durchdrungenen Atmosphäre sich vermindert.

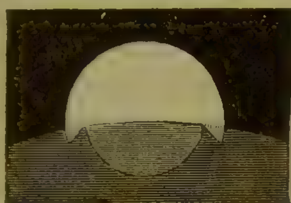
Dass absolute Verdunklung eines hellen Objektes scheinbare Verkleinerung nach sich zieht, erkennt man auch an den Gestirnen. Sobald die Sonne oder der Mond von einer Wolke bedeckt wird, tritt vor dem gänzlichen Verschwinden scheinbare Verkleinerung ein. Gleichzeitig wird

Farbe bläulicher. Wenn die Schicht von theilweis kondensirtem serdunste, welche sich besonders im Winter über die Flur lagert, recht t ist, bewirkt sie beim Eintauchen der untergehenden Sonne eine er- iche Verdunklung. Alsdann röthet sich die Sonne beim dersinken zwar höher, wird aber kleiner.

Die letztere Erscheinung ist recht geeignet, um zu beweisen, dass die inbare Grösse der auf- und untergehenden Gestirne durchaus nicht h ihre rothe Farbe bedingt ist, welche Ansicht hinundwieder ohne re Begründung ausgesprochen ist, wiewohl diese Farbe, wenn sie nach Beschaffenheit der Atmosphäre eintritt und nicht zu sehr gedämpft ,, zur Erhöhung der scheinbaren Grösse beiträgt. Übrigens kann man Sonne auch in fast weissem Lichte sich auf den doppelten Durch- er scheinbar vergrössern sehen.

Wenn Wolken in Gruppen von verschiedener Dichtigkeit vor dem de vorüberziehen, sodass derselbe bald mehr bald weniger von ver- eden durchsichtigen und verschieden diffusionsfähigen Körpern be- deckt ist; so ändert er fortwährend seine Gestalt. Indem sich der Radius für den hinter den dichteren Nebel- massen liegenden Theil des Mondran- des verkleinert, verliert derselbe seine kreisrunde Gestalt, zieht sich bald in die Länge, oder scheint nach Fig. 249 aus zwei Kreisstücken von verschiede- nem Halbmesser zusammengesetzt zu sein oder nimmt eine andere, den ältnissen entsprechende unregelmässige Form an.

Fig. 249.



Die Mondsichel scheint einen grösseren Durchmesser zu haben, der von der Sonne nicht beschienene, sondern im Erdscheine nur ach leuchtende Theil des Mondes.

Die abnorme Wölbung der Linse, welche diese scheinbare Vergrösse- erzeugt, bewirkt immer eine ungenaue Konzentration der hlenkegel. Viele Strahlen durchkreuzen sich vor der Netzhaut, erzeu- also auf dieser Haut Zerstreuungskreise. Je grösser also die nbare Vergrösserung ist, desto undeutlicher muss das Netzhautbild den. In der That erscheint die Mondfigur umso verschwom- ner, je grösser, und umso schärfer, je kleiner wir den Mond cken.

Ausserdem ist diese abnorme Wölbung der Linse mit einer in §. 54 11 näher zu betrachtenden abnormen Vertheilung der Dichtigkeit und mmung nach Sektoren in der Masse der Linse und des Glaskörpers ver- len, welche bewirkt, dass die Zerstreuungsfiguren auf der Netzhaut keine ise, sondern Strahlensterne werden. Hieraus entspringen, wie wir 54 zeigen werden, die Lichtsäume, welche sich um den Körper Mondes legen, wenn derselbe eine gewisse Leuchtkraft annimmt, und he sich bei den Sternen zu den bekannten Strahlen gestalten.

Schliesslich muss ich noch bemerken, dass zu den falschen Hypothe- aus welchen man die scheinbare Vergrösserung der auf- und unter- enden Gestirne zu erklären versucht hat, ausser der atmosphäri-

schen Refraktion und der rothen Farbe, auch die Annahme gehört, dass jene Erscheinung auf der Vergleichung mit den in der Nähe der Gesichtslinie liegenden grösseren Objekten, als Bäumen, Häusern, Bergen u. s. w., also auf einem Grössenkontraste der umgebenden Objekte beruhe. Dass Diess nicht im entferntesten ein Erklärungsgrund ist, geht daraus hervor, dass uns Sonne oder Mond an derselben Stelle des Horizontes, in derselben Umgebung heute gross und morgen klein erscheint, dass auch die Wolken bei höherem Stande des Gestirnes diesen Kontrast nicht hervorbringen, dass Grössenkontraste niemals den enormen Grad der Vergrösserung auf den doppelten Durchmesser hervorbringen und dass überhaupt der Kontrast grösserer Nebenobjekte nicht vergrössert, sondern verkleinert.

9. Das Funkeln und Zittern der Sterne. Das Funkeln oder Szintilliren der Sterne, dieses rasch wechselnde Erlöschen und Wiederaufleuchten, welches zuweilen auch ein örtliches Zittern zu sein scheint, ist von Arago dadurch erklärt, dass die Strahlen, welche das parallele Bündel vom Querschnitte der Pupille bilden, auf ihrem Wege durch die Atmosphäre durch Luft von verschiedener Temperatur, Dichtigkeit, Feuchtigkeit, überhaupt von verschiedener Brechbarkeit gehen, also in verschiedenem Maasse verzögert werden. Diess müsste einen Gang- oder Phasenunterschied der benachbarten Strahlen von veränderlicher Grösse und demnach bei der Zusammenwirkung des ganzen Bündels in einem Punkte der Netzhaut bald gegenseitige Schwächung, bald Verstärkung, also ein Funkeln zur Folge haben.

Diese Erklärung erscheint auf den ersten Blick sehr annehmbar: gleichwohl muss ich dieselbe bekämpfen.

Das Funkeln findet nicht bloss statt, wenn man den Stern mit freiem Auge betrachtet, wo der Durchmesser der Pupille mehr als 4 Millimeter betragen kann: diese Erscheinung besteht auch fort, wenn man den Stern durch das feinste Loch, welches ein Nadelstich hervorbringt und welches kaum $^1/_{10}$ Mm. weit ist, betrachtet. Wegen der geringeren Lichtmenge ist die Erscheinung zwar schwächer in Hinsicht auf Intensität: aber die Geschwindigkeit des Funkelns bleibt nahezu dieselbe, keinesfalls wird sie vermehrt, sondern eher vermindert. Bei einem so kleinen Strahlenbündel lässt sich nun nicht wohl eine Verschiedenheit der Verhältnisse für die einzelnen Strahlen annehmen, da die Luft als ein physischer Körper schon das Bestreben äussert, die Phasen so nahe liegender Strahlen gegeneinander auszugleichen, wenn wirklich zu Verschiedenheiten Veranlassung gegeben wäre.

Jedenfalls müsste aber die Veränderung des Durchmessers des Bündels einen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Funkelns äussern und es wäre von der Verkleinerung dieses Durchmessers eine Beschleunigung und von der Vergrösserung eine Verzögerung zu erwarten; denn es handelt sich bei diesen Veränderungen der Zahl der einfachen Strahlen nicht etwa um den Übergang von einigen zu mehreren, sondern von Millionen zu Millionen. Es kömmt also bei der Vergrösserung des Querschnittes nicht in Betracht, dass die grössere Anzahl von Strahlen öfter die Gelegenheit zu einer gegenseitigen Verstärkung oder

rschwächung herbeiführte; diese Gelegenheit würde in allen Fällen eine häufige sein, dass das Auge den Wechsel nicht mehr unterscheiden nnte: es kömmt vielmehr nur noch die Länge der Perioden in Beicht, während welcher die gegenseitige Verstärkung oder Verschwächung hält. Diese Perioden müssen bei der Vergrösserung des Bündels länger rden, also eine Verlangsamung des Funkelns zur Folge haben. Hiern findet aber das Gegentheil statt.

Das Funkeln ist keine übermässig rasche Bewegung. Ich schätze die echsel zwischen Helligkeit und Dunkelheit auf 5 bis 10 in der Sekunde, lass 5 bis 10 mal Aufleuchten und 5 bis 10 mal Verdunklung stattfindet er die Zeit zwischen zwei Helligkeitsmaximen $^1/_5$ bis $^1/_{10}$ Sekunde beträgt. $^1/_{10}$ Sekunde durchläuft das Licht 4000 Meilen, also wohl 400 mal die he unserer Atmosphäre, oder zum Durchgange durch die ganze Atmoäre ist nur der viertausendste Theil einer Sekunde erforderlich. e lassen sich also aus den möglichen Verzögerungen in der Atmosphäre, bst wenn das ganze Lichtbündel auf einmal davon betroffen, wenn es zu iten plötzlich ganz abgeschnitten und späterhin wieder in Fluss gesetzt rde, die langen Perioden der Helligkeit und Dunkelheit von $^1/_5$ bis Sekunde erklären, wie sie beim Funkeln auftreten?

Wenn man hierbei noch die Dauer des Lichteindruckes im ge berücksichtigt; so muss man es für unmöglich halten, dass die rzögerung der Atmosphäre auf den Gang der Lichtstrahlen einen wahrhmbaren Wechsel von Helligkeit und Dunkelheit hervorzubringen rmag.

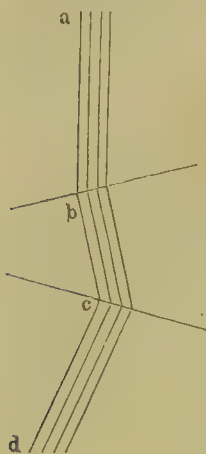
Ferner muss es räthselhaft erscheinen, dass grössere leuchtende Flän, wie die Sonnen- und Mondscheibe, nicht funkeln, selbst am äussten Rande nicht, da doch jeder Punkt dieser Flächen ein Strahbündel aussendet, welches sich genau in denselben Verhältnissen befindet, das von einem Sterne kommende. Eine Bezugnahme auf die Gleichigkeit entgegengesetzer Wirkungeu für die verschiedenen Punkte einer hen Scheibe, womit man dieses Phänomen zu erläutern sucht, kann Bedenken nicht beseitigen: denn jene Strahlenbündel konvergiren nicht demselben, sondern auf verschiedenen Punkten der Netzhaut, könsich also nicht gegenseitig neutralisiren. Die Sonnen- und Mondscheibe sste nothwendig ein zitterndes oder flimmerndes Licht entsenden, r wie aus funkelnden Punkten zusammengesetzt erscheinen: ja, Erwähnung des kleinen Gesichtswinkels von $^1/_2$ Grad, welchen diese stirne haben, müsste es sich sogar oft ereignen, dass das gesammte ihnen herkommende Strahlenbündel verzögert oder beschleunigt rde, dass also die ganze Scheibe sich periodisch verdunkelte er aufleuchtete.

Ich finde den Grund des Funkelns der Sterne und des stetigen uchtens von Sonne und Mond in der Strahlenbrechung und läre das Phänomen folgendermaassen.

Wenn die von einem entfernten leuchtenden Punkte a (Fig. 250 a. f. S.) gehenden, also parallelen Strahlen verschiedene Medien durchdringen, che durch ebene Flächen wie bei b und c begrenzt sind; so werden Strahlen an jeder Fläche parallel gebrochen: dieselben bilden also in letzten Medium bei d ein Aggregat von Strahlen, welche nicht bloss

unter sich parallel sind, sondern auch gleiche Abstände haben, also allenthalben Strahlenbündel von gleicher Intensität bilden. Ob sich also das Auge *d* etwas weiter links oder rechts befindet, immer erblickt es den Stern *a* in der Richtung *dc* mit gleicher Leuchtkraft.

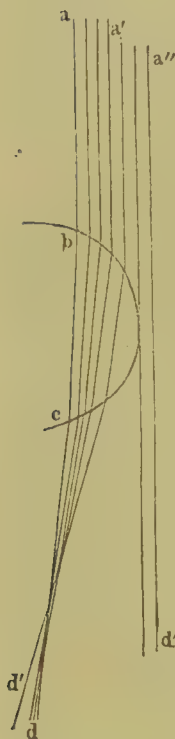
Fig. 250.



Dieser Zustand entspricht der allenthalben im Gleichgewichte aller Kräfte befindlichen Atmosphäre. In diesem Zustande kann der Stern weder funkeln, noch zittern, und auch eine Bewegung des Auges kann diese Erscheinungen nicht hervorbringen.

Wenn die Flächen zwischen den Medien von verschiedener Brechbarkeit krumm sind (Fig. 251), werden die Strahlen des Sternes nicht in parallelen Richtungen in das letzte Medium gelangen; es werden sich hier vielmehr Bündel mit stärkerer und schwächerer Divergenz nebeneinander lagern. Ein normal auf die mittlere Richtung der Strahlen gelegter Schirm wird also ungleich stark erleuchtet werden; es werden Helligkeitsmaximen mit Helligkeitsminimen abwechseln.

Fig. 251.



Verharret die Atmosphäre in einem solchen Zustande, so würde der Stern einem vollkommen ruhigen Auge zwar ebenfalls nicht zu funkeln und nicht zu zittern scheinen: allein die Bewegung des Auges, welche schon durch den Pulsschlag und die allgemeine Unruhe des Körpers erzeugt wird, würde ein langsames Funkeln und Schwanken hervorbringen.

Nun ist es unmöglich, dass die Atmosphäre in solchem Zustande sich im Gleichgewichte befinden könnte; dieser Zustand stellt vielmehr ein Stadium irgend eines Bewegungszustandes, namentlich eines solchen dar, wo die Dichtigkeit oder die Brechbarkeit lokal sich ändert, also eines Zustandes, wie er namentlich durch die Veränderungen der Temperatur, des Wasserdunstes und der Feuchtigkeit der Luft hervorgebracht wird. Eine Änderung der brechenden Flächen und der Brechbarkeit der einzelnen Theile der Atmosphäre muss nothwendig eine örtliche Oszillation der vorhin erwähnten Intensitätsmaximen und Minimen, sowie auch Veränderung der Lichtstärke dieser Maximen und Minimen, und endlich eine Variation der mittleren Richtung der einen Punkt *d* treffenden Strahlen zur Folge haben.

Hieraus ist klar, dass der Stern einem bei *d* stehenden Auge bald mehr, bald weniger hell, bald in dieser, bald in jener Richtung erscheinen, d. h. dass er funkeln und zittern wird. Es leuchtet auch ein, dass diese Erscheinungen am stärksten in feuchter oder vielmehr in solcher Luft auftreten werden, welche entweder Wasserdunst aufnimmt oder

elche ihn kondensirt (wie bei eintretender Kälte), dass daher die dem orizonte nahe stehenden Sterne stärker funkeln werden, als die dem enith nahe stehenden, dass endlich die Sterne am nordischen Himmel bhafter funkeln und zittern werden, als am tropischen Himmel.

Ist der Sehwinkel des Sternes nicht ungemein klein, gehen so von dem Gestirne Strahlenbündel in verschiedenen Richtungen aus; wird jedes dieser Bündel die Atmosphäre auf einem anderen Wege rchdringen und wegen der Nachbarschaft jeder zwei unendlich benach-rten Richtungen, bildet der eine Weg einen stetigen Übergang zu dem deren in der kegelförmigen Masse, welche das Auge zur Spitze und das stirn zur Basis hat. Auf dem am Orte des Auges aufgestellten Schirme t also jede Strahlenrichtung ihre besondere Figur von Maximen und nimen der Helligkeit. Diese den unendlich vielen verschiedenen Rich-ngen angehörigen Figuren werden sämmtlich verschieden sein, aber tig ineinander übergehen. Dieselben werden sich also auf dem hirme nicht decken: es werden Maximen der einen Figur auf Minimen r anderen fallen, also auf dem Schirme eine nahezu gleichmässige leuchtung hervorbringen.

Die Gleichmässigkeit dieser Erleuchtung kann auch nicht durch die ränderungen der Atmosphäre aufgehoben werden, weil sich von jedem stande der Atmosphäre das Nämliche deduziren lässt. Demgemäss heint weder die Sonne, noch der Mond zu funkeln und das ttern kann sich nur am äussersten Rande oder bei einem bestimmt irten Punkte, z. B. bei der astronomischen Beobachtung eines Punktes : Mondfigur bemerkbar machen.

Dass die Sterne aufhören zu funkeln, wenn sie zu klein oder zu hwach werden, und dass auch die grösseren Sterne immer schwächer keln, je mehr sich der Himmel mit Nebel umzieht, leuchtet ein: denn zu schwachem Lichte markiren sich die Intensitätsmaximen zu wenig d ein Nebelschleier hebt vermöge seiner allseitigen Diffusion die Unter-iede zwischen jenen Maximen und Minimen ebenfalls auf, indem er die gelmässigkeit des Ganges der Lichtstrahlen vernichtet.

Es ist auch klar, dass die Fixsterne lebhafter funkeln müssen, als neten, weil für jene Sterne der ganze Strahlenkegel durch die gesammte nge der Atmosphäre den kleinen Querschnitt der Pupille bewahrt, gegen sich dieser Kegel für jeden Planeten innerhalb der Atmosphäre on erheblich ausdehnt.

Ebenso wird die Intensität des Funkelns von der Intensität des chtes abhängen, und jeder Stern wird sich durch eine ihm eigen-mliche Lebhaftigkeit des Funkelns auszeichnen, welche auch noch durch ne Farbe mitbedingt ist, da die eine Farbe mehr durch Absorption let, als die andere.

Übrigens funkeln nicht bloss die Sterne, sondern auch die irdischen hter. Die gleichmässig trockene oder feuchte Luft eines Zimmers ist Hervorbringung dieser Erscheinung nicht günstig, wohl aber die über Erdboden sich hinziehende Schicht der freien Luft. Ich finde, dass flammen von 2 bis 3 Zoll Durchmesser unter günstigen Verhältnissen in fernungen von 3000 bis 4000 Fuss, also in Entfernungen, welche etwa

das 15000-fache ihres Durchmessers betragen oder welche den Sehwinkel auf 14 Sekunden reduziren, anfangen zu funkeln.

Schliesslich bemerke ich, dass das Zittern der Luft, welches durch die Erwärmung hervorgebracht wird, sowie das Schwanken und der Helligkeitswechsel der auf dem Boden eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefässes liegenden Gegenstände in Folge der Bewegung der Flüssigkeit im Prinzipe genau dieselben Erscheinungen sind wie das Funkeln und Zittern der Sterne.

§. 46.

Erscheinungen des Meeres.

1. Farbe des Meeres und der Seen. Eine interessante Naturerscheinung, über welche viel irrthümliche Ansichten herrschen, möge hier noch besprochen werden: die Farbe und der Farbenwechsel des Meeres und der Seen.

Wenn der Himmel mit Wolken bedeckt ist, also der Einfluss von Sonnenlicht und Atmosphäre so gering als nur möglich ist, erscheinen alle Meere und Seen fast farblos, und zwar tritt die Farblosigkeit umso deutlicher hervor, je mehr das Auge in vertikaler Richtung in das Wasser blickt, je weniger also die Strahlen von ausserhalb liegenden Objekten mitwirken können. Das Wasser erscheint alsdann in hohem Grade durchsichtig, woraus auf seine Reinheit geschlossen werden kann, und es zeigt sich keine namhafte Färbung oder Farbenänderung, gleichviel ob man eine Wassertiefe von 10 Fuss oder 10000 Fuss unter sich hat.

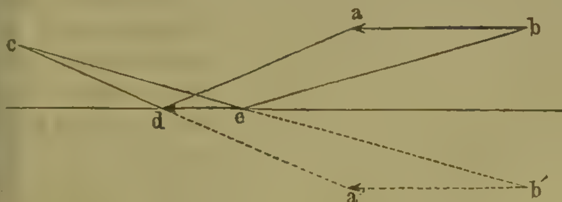
Das schwach erleuchtete reine Wasser ist also ebenso wie die schwach erleuchtete reine Luft ziemlich farblos. Wie nun die Luft durch Erleuchtung blau wird, so wird das Wasser durch Erleuchtung grün. Dieses Grün, welches das Wasser der direkten Wirkung der Sonnenstrahlen, d. h. der Erregung seiner natürlichen Lichtvibrationen durch den Impuls des Sonnenlichtes verdankt, und welches seine eigentliche oder natürliche Farbe ausmacht, wird für jedes besondere Wasser etwas verschieden sein, und so mag es kommen, dass der eine See unter sonst gleichen Verhältnissen eine andere Färbung zeigt, als der andere: allein hiermit ist weder der Farbenwechsel des Meeres erklärt, welcher oft in lebhaften Nuancen vor sich geht, noch die Gleichzeitigkeit so vieler Farben, in welchen das Meer schillert und glänzt, sodass dasselbe oft einer Landschaft mit grünen, gelben, blauen und grauen Farben und Glanzpunkten ähnlich sieht. Insofern aber diese Veränderlichkeit der Farben einunddesselben Gewässers durch äussere Umstände bedingt ist, muss man nach der Lebhaftigkeit, womit dieselbe nach Ort und Zeit vor sich geht, schliessen, dass auch bei der verschiedenen Färbung verschiedener Gewässer die äusseren Einflüsse von viel grösserer Bedeutung sind, als die spezifische Beschaffenheit des Wassers.

Die äusseren Einflüsse reduziren sich im Wesentlichen auf folgende vier.

2. Durchscheinen des Meeresbodens. Bei nicht zu grossen Was-ertiefen scheint der Boden durch die Wassermasse und ertheilt der Vasserfarbe eine von der Farbe des Bodens abhängige Nuance. Gelber and lässt das Wasser gelblich erscheinen. Je höher das Auge steht und heller das Wasser, also auch der Boden von oben erleuchtet ist, desto rösser ist die Tiefe, bis zu welcher der Boden durchscheint. Bei dem achen Blicke von einer niedrigen Küste verschwindet die Wirksamkeit er Bodenfarbe schon bei geringen Tiefen von etwa 10 Fuss.

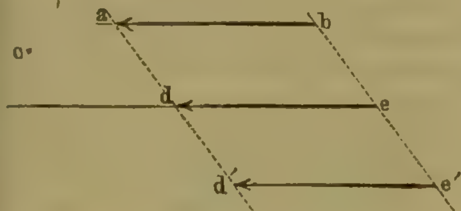
3. Reflexion an der Oberfläche. — Spiegelbild. Das zweite Agens ist die Reflexion des Lichtes auf der Oberfläche des Wassers. Jeder Gegenstand *ab* Fig. 252 erzeugt für das Auge *c* ein Spiegelbild *de* auf der Oberfläche oder vielmehr an dem Orte *a′b′* im Innern des Wassers. Wenn er leuchtende Gegenstand *ab* die Sonne ist, liefern die Spiegelbilder e, welche sich auf der bewegten Wasserfläche in unzähliger Menge bilen, Glanzpunkte. Ist dagegen dieser Gegenstand eine Wolke; so ist as Spiegelbild je nach der Farbe der Wolke weisslich, grau, röthlich. er blaue Himmel reflektirt bläuliches Licht. Das Spiegelbild ist umso räftiger, je tiefer der sich spiegelnde Gegenstand steht, weil umso mehr Licht n dem Strahle *ad* reflektirt wird, je flacher dessen Richtung ist. Bei ganz deckte Himmel wird das Wasser in Folge dieser Reflexion und wegen es Mangels an erleuchtendem Lichte grau oder scheinbar trübe, wieohl ein vertikaler Blick dasselbe als vollkommen klar erkennen lässt. uch bei Sonnenauf- und Sonnenuntergang, wo es in der Atmosphäre und i Wasser an Licht fehlt, waltet das reflektirte Licht dergestalt vor, dass as Wasser selbst bei heiterem Himmel einem tief stehenden Auge als aue Fläche mit Glanzpunkten erscheint.

Fig. 252.



4. Zerstreuung an der Oberfläche. — Schattenbild. Das dritte gens ist die Diffusion des Lichtes auf der Oberfläche. Vermöge der Glätte eser Fläche selbst in der Wellenform wird zwar nur wenig Licht an r Oberfläche zerstreut, vielmehr fast alles Licht theils reflektirt, theils das Innere des Wassers gebrochen: allein ein kleiner Theil wird doch ch zerstreut. Hierdurch markirt sich ein wenig die Stelle *de* Fig. 253, in welcher die Sonne den Schatten der Wolke *ab* auf das Wasser wirft. Dieses Schattenbild in Fig. 253 ist nicht mit dem Spiegelbild *e* in Fig. 252 zu verwechseln. Dasselbe ist ungleich schwächer und eigentlich nur auf schäumender Wasserfläche sichtbar. Wenn jedoch

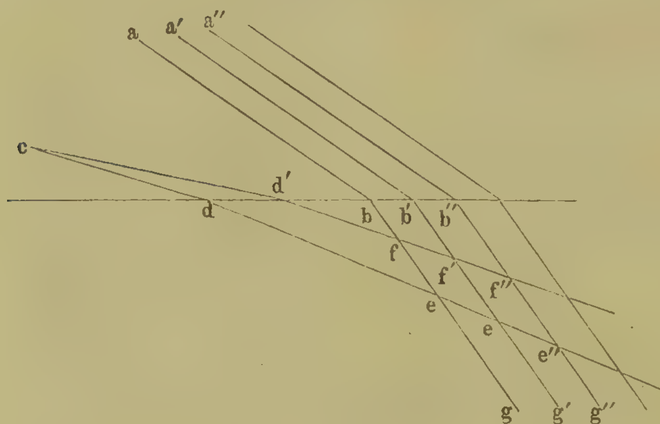
Fig. 253.



die Wassertiefe nicht zu gross ist, wird das auf dem rauhen Meeresboden entstehende Schattenbild $d'c'$ stark wirksam.

5. Brechung und Wiederausstrahlung. — Dioptrisches Bild. Die vierte Wirkung entsteht aus der Brechung und Wiederausstrahlung des Lichtes. Angenommen das Auge befinde sich in c (Fig. 254) und irgend ein leuchtender Punkt, z. B. ein Punkt der Sonne sende den Lichtstrahl ab auf das Wasser. Der Theil dieses Strahles, welcher an der Oberfläche nicht reflektirt und diffundirt wird, wird gebrochen und dringt in der Richtung bg in das Wasser ein. In jedem Punkte e seiner Bahn erregt er durch die in ihm lebende Kraft des vibrirenden Äthers das daselbst befindliche Wassertheilchen zu spezifischen Lichtschwingungen oder macht dieses Theilchen leuchtend oder strahlend oder diffundirend in spezifischer und durch die Farbe des erregenden Lichtes ab mit bedingter Farbe. In Folge dieser Strahlung sendet das Wassertheilchen e Strahlen nach allen Richtungen durch das Wasser. Unter allen diesen Richtungen ist eine cd, nach welcher ein Strahl, indem er sich an der Oberfläche d bricht, in das Auge c gelangt.

Fig. 254.



Werden nun von der Lichtquelle mehrere Strahlen $a'b'c'$, $a''b''c''$ u. s. w. gegen und in das Wasser gesandt (gleichviel ob dieselben parallel sind oder von einem Punkte ausgehen); so vereinigen sich die Wirkungen aller in der Richtung de liegenden Theilchen e, e', e'' zu einer Gesammtwirkung, und diese Wirkung ist es, welche uns das Wasser in der Richtung cd in einer bestimmten Farbe und Lichtintensität erscheinen lässt.

Die Theilchen f, f', f'' erzeugen einen anderen Effekt in der Gesichtslinie cd', welcher sich von dem vorigen vorzugsweise durch seine Intensität unterscheidet.

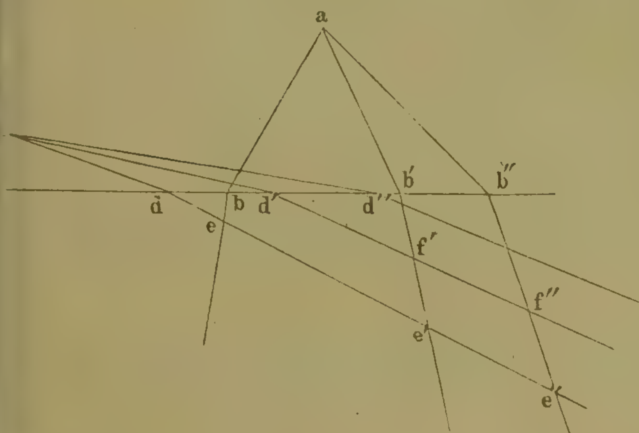
Da der in das Wasser eindringende Lichtstrahl be mit der Tiefe immer mehr an seiner Stärke verliert, indem er ja einen Theil seiner Kraft auf die Erleuchtung der Wassertheilchen verwendet, welche das Licht nach allen Seiten weiterstrahlen; so werden die tiefer liegenden Richtungen dee'' weniger Intensität haben, als die höher liegenden $d'ff''$. Andererseits verliert aber der tiefere Strahl bei der Brechung an der Oberfläche bei d von innen kommend, weniger Licht als der obere Strahl, weil jener steiler gegen die Oberfläche gerichtet ist als dieser. Demnach ist mit der

ränderung der Richtung theils ein Gewinn, theils ein Verlust von Licht bunden und hieraus folgt, dass in einer bestimmten Richtung die ensität des austretenden Strahles ein Maximum sein, dass also das asser dem Auge c in einer bestimmten Richtung am intensivsten ichtend und gefärbt erscheinen wird.

Wenn ab ein Sonnenstrahl ist und keine andere Lichtquelle rahlen in das Wasser wirft; so ist die eben bezeichnete Richtung cd jenige, welche uns das Wasser in seiner natürlichen Farbe zeigt.

Die nämliche Betrachtung findet statt, wenn a kein unendlich entnter Punkt ist, welcher nur parallele Strahlen entsendet, sondern wenn selbe näher liegt und nach Fig. 255 nach allen Richtungen abc, $ab'c'$, $''c''$ Strahlen in das Wasser schickt. Unter allen Richtungen wird eine, B. die cd dem Maximum der Lichtwirkung entsprechen, welche das vom Punkte a ausgehende Licht durch Erregung des Strahlungs- oder Diffusionsvermögens der Wassermasse auf das Auge c erzeugt. Während man den Punkt d in Fig. 252 das Spiegelbild oder das katoptrische Bild des Punktes a nennt, kann man in Fig. 255 den Punkt d, in welchem der Punkt a vermöge der Brechung (Rektion) und Ausstrahlung (Diffusion) seine Maximalwirkung auf das ge c thut, sein dioptrisches oder Refraktionsbild nennen. Streng nommen, ist das dioptrische Bild von a kein Punkt, sondern eine iche, deren Lichtintensität in d am stärksten ist und nach vorn und tten allmählich schwächer wird und welche sich, wie der Grundriss . 256 zeigt, seitwärts in krummen Intensitätslinien verläuft.

Fig. 255.

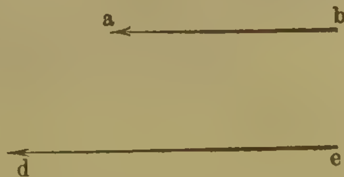


Was von einem Punkte a gilt, überträgt sich leicht auf einen grösse- Gegenstand ab (Fig. 257). An der Stelle de seines dioptrischen Bil-

Fig. 256.



Fig. 257.



äussert derselbe auf das Auge c seine grösste dioptrische Wirng, d. h. ertheilt er dem Wasser eine von seiner eigenen Farbe und lligkeit abhängige Färbung.

Ist *ab* eine Wolke; so erscheint das Wasser bei *dc* je nach der Farbe und Helligkeit der Wolke, weisslicher oder grauer: ist dagegen *ab* ein klarer blauer Luftraum; so erscheint das Wasser bei *de* bläulicher.

Ist dagegen *ab* die Sonne; so erscheint, wie schon erwähnt, das Wasser bei *de* meergrün.

6. Zusammenwirkung der verschiedenen Ursachen. Wenn man von den geringen Wassertiefen absieht, in welchen der Meeresgrund durchscheint, und von zufälligen unreinen Beimischungen; so konkurriren miteinander bei der Färbung des Meeres fast allein die dioptrischen Bilder der Wolken, des blauen Himmels und der Sonne und die Spiegelbilder (die Reflexe) der Wolken und der Sonne und diese Konkurrenz wird in hohem Grade beeinflusst durch den gegenseitigen Stand dieser Objekte. Die Spiegelung oder der Reflex ist immer am stärksten, wenn das Objekt, namentlich die Sonne nicht hinter, sondern vor uns und namentlich wenn sie tief steht. Alsdann überwiegt das reflektirte Licht häufig das gebrochene und das Wasser erscheint selbst bei heiterem Himmel grau mit Glanzpunkten. Je tiefer die Sonne sinkt, desto mehr nimmt die graue Farbe in Folge der Verminderung der Helligkeit der Atmosphäre, also in Folge der Schwächung des gebrochenen Lichtes zu.

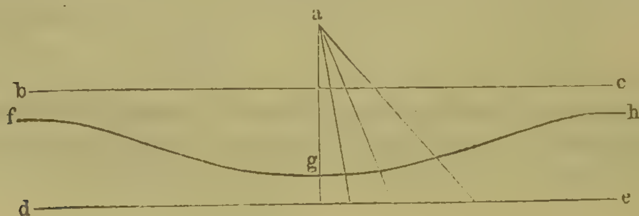
Die Brechungserscheinungen treten umso lebhafter hervor, wenn die Sonne hinter uns steht und das Wasser in schöner grüner Farbe erglänzen lässt und wenn gleichzeitig vor uns blauer Himmel mit weissen Wolken wechselt, wovon ersterer das Wasser bläulich und letztere dasselbe blasser und grauer färbt.

Zu den Objekten des Himmels gesellen sich an Seen die Berge und sonstigen Objekte der Gestade, um der Farbe des Wassers nicht bloss durch Reflexion, sondern auch durch Refraktion einen mehr konstanten Ausdruck zu geben.

Das Wasser vieler aus Tirol hervortretenden Flüsse, der Isar, des Inns, der Salzach, sind allerdings durch die grünlichen Bestandtheile der durchströmten Nagelfluhe grünlich gefärbt: allein diese Farbstoffe bedingen nur in geringem Grade die Farbe der Gebirgsseen. Von hohen Punkten, z. B. von der Spitze des Schafberges erblickt man gleichzeitig viele dieser Seen nicht bloss in sehr verschiedenartigen, sondern in wechselnden Farben, und solche Punkte, welche eine deutliche Übersicht über alle Objekte des Himmels und der Erde gestatten, lassen deutlich erkennen, wie bei dieser Färbung die Sonne, die blaue Luft, die Wolken und die Gestade theils durch Reflexion, vornehmlich aber durch Refraktion zusammenwirken, um jenes überraschende Farbenspiel zu erzeugen.

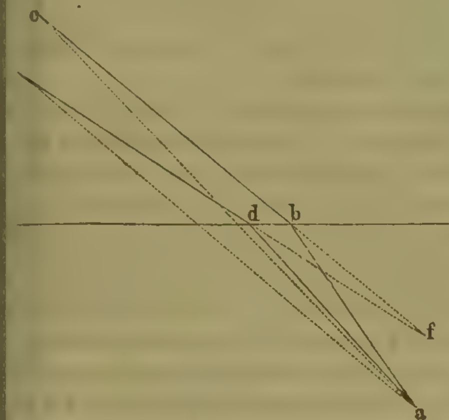
7. Scheinbare Gestalt des Meeresbodens. Schliesslich mache ich noch darauf aufmerksam, dass in Folge der Strahlenbrechung der

Fig. 258.



eresboden weniger tief zu sein scheint als er ist, auch dass ein ner Boden *de* Fig. 258 dem über dem Wasser befindlichen Auge *a* nicht wie eine ebene, sondern wie eine gekrümmte Fläche *fgh* erscheint.

Fig. 259.



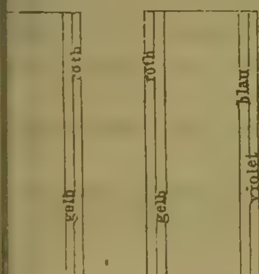
Diese Erscheinung erklärt sich nach Fig. 259 daraus, dass zwei benachbarte Strahlen *abc* und *ade*, welche von demselben Punkte *a* im Wasser divergirend ausgehen und sich an der Oberfläche brechen, ausserhalb des Wassers Richtungen haben, wie wenn sie von einem Punkte *f* herkämen, welcher höher liegt als *a*.

§. 47.

rbendispersion in Folge unsymmetrischer Akkommodation des Auges.

Wir kommen jetzt auf das in §. 7 No. 6 erwähnte Experiment zurück, hes darin besteht, dass wenn man bei dem Blicke mit einem Auge auf n hellen vertikalen Streifen diesem Auge von der rechten Seite her die kale Kante eines Kartenblattes nähert, jener Streifen Farbensäume mmt, welche die Reihenfolge der prismatischen Farben haben und dergestalt, dass an der rechten Grenze des Streifens aussen roth an der linken Grenze aussen violett sich befindet, wie Fig. 260 darstellt. Nähert man die verdeckende Kante dem Auge von links; so kehren sich die Farbensäume um (Fig. 261). Nähert man von beiden Seiten eine Kante; so verschwinden die Farbensäume.

260. Fig. 261.



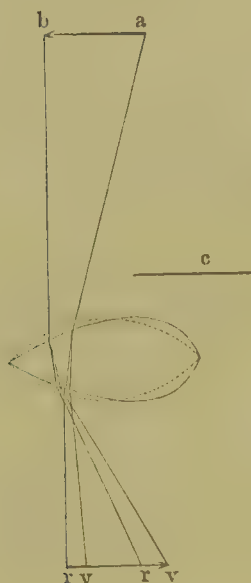
Dass das Auge im ersten und zweiten Falle unsymmetrisch akkommodirt ist, leuchtet ein und ist schon in §. 7 bemerkt: es kömmt jetzt nur noch auf die Erklärung der besonderen Art der vorliegenden Unsymmetrie an.

Zunächst könnte die Meinung entstehen, die ensäume verdankten ihre Entstehung dem Umstande, dass in Bezie- auf die verschiedenfarbigen Strahlen eine mehr oder weniger gute ommodation hinsichtlich der Entfernung in der Weise stattfände, von der rothen Seite her die rothen, dann die gelben Strahlen u. s. w. en betreffenden Zerstreuungskreisen auf der Netzhaut sich besser kon- rirten, also die vorherrschende Färbung erzeugten. Allein wir haben n in §. 27 No. 2 darauf aufmerksam gemacht, dass wenn die Mittel-

punkte der Zerstreuungskreise verschiedener Farben auf einanderfallen, selbst wenn diese Kreise verschiedene Grösse haben, der Eindruck eines gleichartigen Farbengemisches entsteht, sodass in diesem Falle der fragliche Streifen wohl eine veränderte Gesammtfarbe, auch vielleicht eine Farbenverwaschung nach den Kanten hin, nicht aber eine prismatische Farbendispersion zeigen könnte.

Die letztere kann nur daraus entstehen, dass die Mittelpunkte der Zerstreuungkreise der verschiedenen Farbenstrahlen auseinanderfallen oder dass die Axen der verschiedenen Farbenkegel divergiren. Diess ist auch in der That derjenige Vorgang, welcher aus den wirkenden Ursachen am nächsten sich ergiebt. Wir nehmen also an, durch das Vorhalten einer Karte, welche nur die rechte Seite der Pupille bedeckt, verziehe sich die Linse schief, sodass ein Horizontalschnitt derselben nicht mehr die in Fig. 262 durch punktirte Linien dargestellte symmetrische, sondern die durch ausgezogene Linien dargestellte auf der rechten Seite verdickte und auf der linken Seite verdünnte oder doch weniger verdickte Figur darstellt. Diese Verzerrung ertheilt der Linse an der rechten Seite, wo das Kartenblatt am nächsten und wirksamsten ist, eine stärkere Wölbung, als an der linken Seite, harmonirt also ganz und gar mit den Effekten, welche die Konkurrenz eines nahen Körpers hinsichtlich der Akkommodation auf die Entfernung ausübt, indem Verstärkung der Wölbung induktorisch mit dieser Akkommodation verbunden ist.

Fig. 262.



Eine so gestaltete unsymmetrische Linse muss aber die Strahlen oder die Axen der Strahlenkegel nach Art eines Prismas so zerstreuen, wie Fig. 262 es darstellt, so nämlich, dass auf der Netzhaut der rothe Strahl immer links und der violette rechts liegt. Hiernach muss am Objekte umgekehrt die äusserste Grenze auf der rechten Seite *a* den rothen und auf der linken Seite *b* den violetten Saum tragen.

Verlegt man das Kartenblatt auf die linke Seite; so stellen sich die umgekehrten Verhältnisse ein.

Bringt man aber zu beiden Seiten nahe vor dem Auge symmetrisch liegende Kartenblätter an; so wird die Verzerrung der Linse symmetrisch und die Farbendispersion hört auf.

§. 48.

Täuschungen über die Form der Objekte.

1. Bedingungen für die Entstehung eines richtigen Netzhautbildes. Wenn man sich den Augapfel oder doch den Bezirk der Netzhaut, auf welchem Bilder mit mehr oder weniger Genauigkeit gleichzeitig

sehen werden, als eine vollkommene Kugel denkt, deren Mittelpunkt · Kreuzungspunkt oder genauer der hintere Knotenpunkt ist; so rchschneidet jede Ebene, welche durch den Kreuzungspunkt geht, die tzhaut in einem Kreise, und die Normalen dieses Kreises oder die in liegenden Stäbchen konvergiren sämmtlich nach dem Kreuzungs-ıkte. Bildete die Netzhaut keine Kugel, sondern irgend eine andere krümmte Fläche; so könnte zwar manche Ebene in allen Punkten ihrer rchschnittslinie mit der Netzhaut auf dieser Haut normal stehen, jedoch neswegs jede. So würden z. B., wenn die Netzhaut die Umwälzungs-he einer beliebigen Kurve wäre, die durch die Rotationsaxe gelegten enen, aber keine anderen allenthalben auf jener Fläche normal stehen er die Axen der in der Durchschnittslinie liegenden Stäb-en enthalten.

Nun muss man es offenbar für ein nothwendiges Erforderniss halten, ss wenn man durch das Netzhautbild einer geraden Linie eine Linie rt, welche stets durch den Kreuzungspunkt geht, diese Linie eine ene beschreibe, in welcher auch die Objektlinie liegt, und dass diese ene auf der Netzhaut allenthalben normal stehe oder die Axen der reffenden Stäbchen enthalte, wenn überhaupt gerade Linien s gerade oder als Linien von überall gleicher Richtung scheinen sollen.

Wenn diese Bedingung für alle Geraden erfüllt ist, wird der Winkel ischen zwei auf der Augenaxe normal stehenden geraden Linien oder ischen zwei durch diese Axe gehenden Ebenen auch richtig durch den igungswinkel gemessen werden, welchen die den Netzhautbildern im ge entsprechenden Meridionalebenen gegeneinander bilden.

Käme zur Erfüllung dieser Bedingungen noch eine richtige Akkom-dation auf die Entfernung; so dass auch die gegen die Augenaxe ıeigten Geraden richtig als Gerade anerkannt würden; so wären alle fordernisse realisirt, deren es bedürfte, um alle Figuren der Aussen-lt richtig zu erkennen, möchten dieselben nun gerad- oder krumm-ıig, durch Linien oder durch Flächen begrenzt sein; denn die umme Linie entsteht, indem ein Punkt bei geradlinigem Fortschritte ı zugleich nach einem bestimmten Gesetze oder um bestimmte Winkel-össen dreht, und eine Fläche entsteht, indem eine Linie fortrückt und ɔei vielleicht sich dreht und nach einem gewissen Gesetze ihre Form lert. Immer aber spielt die Richtung, also das Geradlinige und · Winkel die Grundrolle und wenn zur richtigen Erkenntniss dieser emente die Bedingungen erfüllt sind, können auch die daraus zusam-ngesetzten Erscheinungen auf vollkommene Auffassung rechnen.

2. Einfluss der unvollkommenen Kugelgestalt des Augapfels f die Grösse des Objektes. Die obigen Bedingungen finden sich ı in aller Strenge wohl niemals realisirt. Einmal hat die Netzhaut keine lkommene Kugelgestalt, der vertikale Durchmesser ist in der Regel iner als der horizontale, die Krümmung im vertikalen Querschnitte also rker, als im horizontalen. Ausserdem verzieht sich der Augapfel bei · Akkommodation auf gegebene Objekte so, dass er sich bald mehr, d weniger, bald in dieser, bald in jener Richtung, überhaupt in einer

von den gegebenen Objekten abhängigen Weise von der Kugelgestalt entfernt.

Die erste konstante Abweichung von der Kugelgestalt hat zunächst zur Folge, dass uns dieselbe Länge in vertikaler Richtung grösser erscheint, als in horizontaler. Denn wenn in Fig. 263 $a'b'$ das Netzhautbild des Objektes ab auf dem vertikalen und $a''b''$ das Bild auf dem horizontalen Durchschnitte des Auges darstellt; so entspricht das erstere Bild der Vorstellung eines Gegenstandes $a_1 b_1$, welche einem grösseren Sehwinkel anzugehören, also selbst grösser zu sein scheint als der Gegenstand $a_2 b_2$, welcher mit dem zweiten Bilde korrespondirt.

Fig. 263.

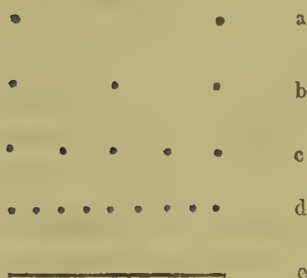


Übrigens haben wir schon in §. 24 No. 25 einen anderen Grund kennen gelernt, welcher seinerseits, unabhängig von der vorstehenden Ursache selbst in einem völlig kugelförmigen Auge eine vertikale Linie grösser erscheinen lässt, als eine gleich lange horizontale.

Eine schräge Linie wird hiermit länger als eine horizontale und kürzer als eine vertikale erscheinen. Ein vertikaler Kreis wird eine elliptische Figur mit verlängerter vertikalen Axe bilden. Ein gerade stehendes Quadrat in vertikaler Ebene wird wie ein Rechteck von grösserer Höhe als Breite erscheinen, und ein übereck gestelltes Quadrat wird die Form eines Rhombus mit verlängerter vertikalen Diagonale annehmen.

Man kann mit Grund voraussetzen, dass die Form, welche die Netzhaut annimmt oder anzunehmen strebt, wenn sie sich auf eine Reihe in gerader Linie liegender Punkte akkommodiren soll, in aller Schärfe nicht bloss von dem Abstande der beiden Endpunkte, sondern auch etwas von der Anzahl oder dem relativen Abstande der Zwischenpunkte abhängen wird. Insbesondere wird die Form der Netzhaut in der Richtung jener Linie umso mehr der Kreisform nahe kommen, je grösser die Anzahl der Punkte ist. Je kleiner die Anzahl der Punkte ist, desto mehr werden die nicht affizirten Stäbchen in den leeren Zwischenstrecken vortreten oder vorzutreten streben, also die Form der Netzhaut so ändern, dass die Normalen in den Endpunkten sich unter einem kleineren Winkel gegeneinander neigen.

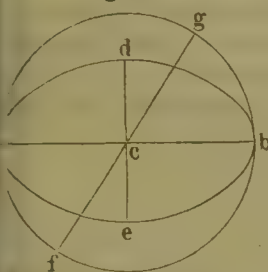
Fig. 264.



Hieraus folgt, dass in Fig. 264 die Reihen a, b, c, d von Punkten umso länger zu sein scheinen, je mehr Punkte sie enthalten, und umso kürzer, je weniger Punkte sie enthalten. Übrigens erreicht die scheinbare Verlängerung der punktirten Linie bei einer gewissen Dichtigkeit der Punkte ihr Maximum. Rücken die Punkte einander so nahe, dass das Auge sie nicht mehr unterscheidet; so nimmt der Reiz zur scharfen Akkommodation der Netzhautpunkte wieder ab, und demnach erscheint die volle Linie e nicht am längsten.

3. Einfluss der unvollkommenen Kugelgestalt des Augapfels f die Form des Objektes. Die Abweichung des Augapfels von der gelgestalt wird übrigens nicht bloss einen Einfluss auf die scheinbare össe, sondern auch auf die Richtung und die Lage haben. Denn die tzhaut, von welcher die beiden horizontalen Durchmesser gewöhnlich ıezu gleich und länger als der vertikale sind, besitzt etwa die Form eines nwälzungsellipsoides, dessen Rotationsaxe vertikal steht und wel- :s durch die Umdrehung einer Ellipse um deren kleine Axe gebildet wird. enn in einem solchen Ellipsoide (Fig. 265) der Punkt *b* der Mittelpunkt Bezirkes des deutlichen Sehens im Auge und *cb* die Augenaxe ist; so sind nur der durch *c* gehende horizontale Durchschnitt *afbg* und jeder durch *c* gehende vertikale Durchschnitt wie *aebd* so beschaffen, dass die in ihnen auf dem Ellipsoide errichteten Normalen sämmtlich in den Durchschnittsebenen liegen.

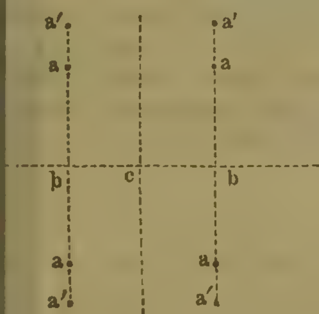
Fig. 265.



Bei einem schrägen Durchschnitte ist Letzteres jedoch nicht mehr der Fall. Eine schräge Linie erscheint uns daher in einer anderen Richtung und eine nicht durch *c* gehende horizontale Linie erscheint nun verrückt.

In welcher Weise die Lage eines Punktes und einer Linie scheinbar h ändert, lässt sich leicht übersehen, wenn man Folgendes beachtet. le Normale auf dem obigen Ellipsoide liegt in der durch den betreffenden tzhautpunkt und die vertikale Axe *cd* gehenden Vertikalebene. äre das Auge eine vollkommene Kugel; so gingen alle diese Normalen rch das Zentrum *c*: in Folge der elliptischen Gestalt weichen die Norlen des Ellipsoides von den Radien der Kugel so ab, dass sich der Ort es Punktes *a* (Fig. 266) nur in vertikaler, nicht in horizontaler Beziehung ändert. Ist *c* der Mittelpunkt des Gesichtsfeldes; so vergrössert sich der vertikale Abstand *ba* des Punktes *a* von der Horizontalen *bb*, indem dieser Punkt nach *a'* rückt. Die Verrückung *aa'* wächst mit dem Abstande des Punktes *a* von der Linie *bb* oder vielmehr mit dem Winkelabstande dieses Punktes gegen die durch *c* gehende Horizontalebene. Wenngleich der absolute Werth dieser Verrückung wächst; so fragt sich doch noch, ob auch ihr relativer Werth oder das Verhältniss von *aa'* zu *ba* wächst oder fällt oder konstanst bleibt.

Fig. 266.

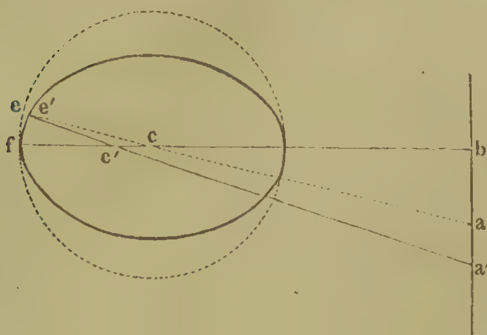


Für die scheinbaren Orts- und Formveränderungen ist die letzte Frage n grösster Wichtigkeit; denn man übersieht leicht, dass wenn das Verltniss der Verrückung *aa'* zu dem Abstande *ba* nicht konstant bleibt, e geraden Linien mit Ausnahme der vertikalen Linien und der einzigen rch *c* gehenden horizontalen Linie krumm und an einem anderen rte erscheinen, dass jedoch, wenn jenes Verhältniss konstant bleibt, e geraden Linien gerade und nur mit verändertem Orte oder in anrer Richtung erscheinen.

4. **Rechnungsmässige Bestimmung der Formveränderun**

Um diese Frage zu beantworten, so stelle in Fig. 267 die punktirte Kurv einen Kreis vom Radius und die ausgezogene Kurv den elliptischen Vertikaldurch schnitt des Auges, dess kleine Halbaxe b sei, da Während nun eine Affektio der Netzhaut bei e in d Richtung des Radius cc au den Punkt a führen sollt führt sie in der Richtung de Normalen $e'c'$ der Ellipse au den Punkt a'.

Fig. 267.



Da die Gleichung der Ellips vom Punkte f aus

$$y = \frac{b}{a}\sqrt{2ax - x^2}$$

ist; so ist die Tangente des Neigungswinkels $e'c'f = \alpha'$ der Normale $e'c'$ gegen die Horizontale fc', also

$$tang\,\alpha' = \frac{a^2 y}{b^2 (a - x)}$$

Für den Kreis ist die Tangente des Winkels $ccf = \alpha$

$$tang\,\alpha = \frac{y}{a - x}$$

Nun sind die Koordinaten x, y der beiden im Kreise und in de Ellipse belegenen Punkte c und c' zwar nicht ganz gleich: allein für all Netzhautbilder, welche noch einen scharfen Eindruck gewähren, ist de Abstand fc so klein, dass derselbe auch nahezu gleich fc' oder dass di Ordinate des Kreises gleich der der Ellipse gesetzt werden kann. Ebens kann für beide Kurven die Länge $a - x$ als gleich angesehen werden Hierdurch wird das Verhältniss der obigen beiden Tangenten

$$\frac{tang\,\alpha'}{tang\,\alpha} = \frac{a^2}{b^2}$$

Da die Länge cc' gegen die Sehweite cb so klein ist, dass sie ver nachlässigt werden kann; so entspricht vorstehendes Verhältniss auch dem Verhältnisse der beiden Linien ba' und ba, d. h. man hat

$$\frac{ba'}{ba} = \frac{a^2}{b^2}$$

oder

$$\frac{aa'}{ba} = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

Diese Beziehung ist nun dadurch wichtig, dass sie lehrt, dass das Verhältniss der scheinbaren vertikalen Verrückung aa' zu dem vertikalen Abstande eines Punktes a von der Ho-

zontalen b (Fig. 267 und 266) konstant ist, dass also alle ınkte in gleichem Maasse von der durch die Sehaxe gegten Horizontalebene weggerückt werden.

5. Grösse der Formveränderung. Ferner giebt jenes Verhältniss ı Urtheil über die Beträchtlichkeit dieser Verrückung. Ist z. B. r vertikale Durchmesser eines Auges um 1 Millimeter kleiner als der rizontale, also $2a = 25$ und $2b = 24$ Millimeter; so wird

$$\frac{aa'}{ba} = \frac{1}{12}$$

Diese geringe Verschiedenheit der Durchmesser bewirkt also, dass ıe vertikale Linie um den zwölften Theil länger erscheint, als eine eich lange horizontale Linie. Wäre der vertikale Durchmesser um Millimeter kürzer; so steigerte sich diese Verlängerung nahezu auf den chsten Theil.

6. Kombination der vorstehenden beiden Resultate. Jetzt sind rr im Stande, alle verschiedenen Formveränderungen zu übersehen. Aus rr obigen Beziehung ergiebt sich leicht Folgendes.

Jede gerade Linie bleibt auch scheinbar gerade.

Jede vertikale Linie oder Höhe behält ihre Lage, ändert aber ihre rösse, indem in Fig. 268 die Punkte a nach a' rücken.

Jede horizontale Linie, gleichviel, ob sie auf der Sehaxe normal eht oder nicht, behält ihre scheinbare Länge bei. Die durch die Sehe selbst gehende Horizontale bleibt auch unverrückt, jede andere rückt ın der Sehaxe weiter ab, bleibt aber scheinbar horizontal (Fig. 269).

Fig. 268.

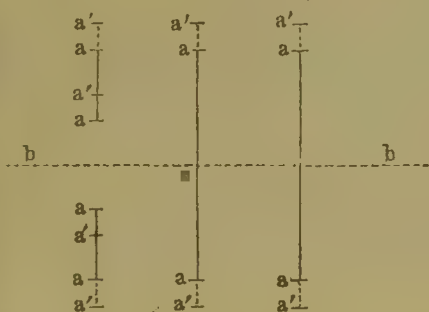
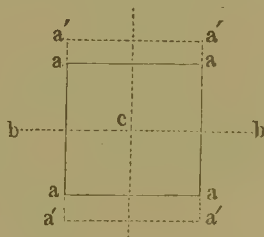


Fig. 269.



Jede schräge Linie, welche gegen die durch die Sehaxe gehende orizontalebene geneigt ist, behält denjenigen Punkt unverrückt bei, in elchem sie die eben gedachte Horizontalebene durchschneidet. Im Übrien ändert sie ihre scheinbare Richtung, indem sie sich steiler stellt Fig. 270 und 271 a. f. S.).

7. Änderungen für jedes individuelle Auge. Die vorstehenden ormveränderungen haben offenbar für jedes Individuum einen besoneren Werth, weil sie von dem Verhältnisse der Augendurchıesser abhängen.

Wären die beiden horizontalen Durchmesser verschieden; so würde Diess nicht bloss auf die Grösse, sondern auch auf die Art der Formver-

Fig. 270.

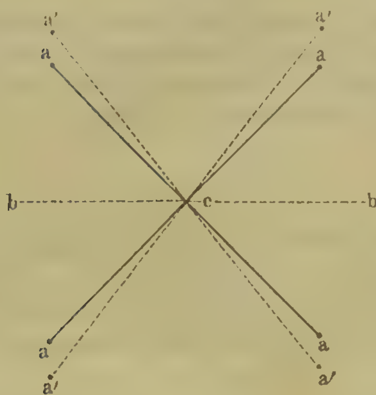
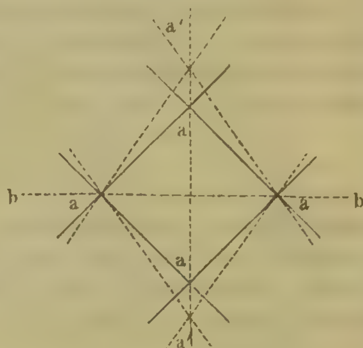


Fig. 271.



änderungen Einfluss haben, weil alsdann auch Verrückungen in *horizontaler* Beziehung in Betracht kommen.

Wäre ferner die Krümmung des Auges keine *regelmässige* oder doch keine dem *Ellipsoide* entsprechende; so würden jene Formveränderungen nach der Krümmung derjenigen Fläche zu beurtheilen sein, welche die Netzhaut in der *Nachbarschaft* der *Sehaxe* bildet.

8. **Einfluss der Akkommodationsveränderungen.** Zu diesen von der *konstanten Form* des Auges abhängigen scheinbaren Formveränderungen gesellen sich nun noch solche, welche durch die *zufällige*, dem augenblicklichen *Akkommodationsgrade* entsprechende Form der Netzhautfläche bedingt sind.

Indem sich nämlich das Auge auf ein bestimmtes Objekt akkommodirt, nimmt dasselbe eine von der Gestalt, Farbe, Lichtstärke und Entfernung dieses Objektes abhängige, mehr oder weniger regelmässige *Gestalt* an. Diese *Gestaltveränderung*, wodurch die Richtung der *Stäbchen* affizirt wird, muss einen Einfluss auf die scheinbare Form des Objektes haben. Dieser Einfluss wird geringer sein, wenn das Objekt möglichst *eben* ist; derselbe wird zunehmen, wenn das Objekt erheblich verschiedene *Tiefendimensionen* hat oder wenn gleichzeitig auf diese veränderte Netzhautfläche das Bild eines zweiten Objektes aus verschiedener Sehweite fällt.

Im Übrigen lässt sich nicht annehmen, dass die Formveränderung der Netzhautfläche bei der Akkommodation auf verschiedene Sehweiten eine *weit um sich greifende* sei; dieselbe wird sich vielmehr auf einen kleinen Bezirk erstrecken, sodass die übrige nicht affizirte Fläche dieser Haut die normale Gestalt behält. Der Einfluss dieser Akkommodation auf die scheinbare Gestalt eines Objektes würde also nur *partiell* sein und diejenigen Punkte betreffen, welche in der Nähe der abnormen Formveränderung der Netzhaut liegen. Dieser Einfluss wird auch noch durch die abnormen Veränderungen der *Linse* modifizirt werden, welche mit der gedachten Akkommodation verbunden sind.

Alle vorstehend betrachteten Störungen der normalen Form der ;jekte entspringen lediglich aus der Abweichung der Netzhaut von der .gelgestalt. Zu diesen Abnormitäten gesellen sich nach §. 24 No. 25 noch jenigen, welche daraus entstehen, dass das Auge, selbst wenn es bei un-rückter Kopfaxe nachundnach die einzelnen Punkte eines Objektes tirt, doch in Folge der mit seiner Verdrehung verbundenen Anstren-ng sich nicht für alle Winkelabstände gleich gut auf die Entfernung commodirt.

9. Kontrastwirkungen. Endlich aber spielt bei der scheinbaren rm der Objekte auch der in §. 34 No. 5 erörterte Kontrast der geome-schen Figuren eine nicht unbedeutende Rolle. Vermöge des Kon-stes scheint die Richtungsverschiedenheit zweier geneigten Li-n oder ihre relative Richtung im Allgemeinen grösser zu sein, als ist: ausserdem finden scheinbare Veränderungen des absoluten rthes dieser Richtungen, d. h. Veränderungen der Neigung gegen die rper- oder Kopfaxen, also gegen die Vertikale und Horizon-e statt.

Wenn neben einer vertikalen Linie eine nach rechts geneigte sicht-ist; so erscheint vermöge des Kontrastes die vertikale nach links eigt. Neben einem überhängenden Thurme erscheint der lothrechte h der entgegengesetzten Seite hängend.

Die scheinbare Vergrösserung der Richtungsverschiedenheit be-t sich stets auf den von beiden Richtungen gebildeten spitzen Win-Stossen also zwei Linien unter einem stumpfen Winkel zusam-; so scheint derselbe kleiner zu sein, wogegen der rechte Winkel ezu richtig erscheint.

In Fig. 272 ist durch die unteren Figuren dargestellt, wie die ver-ale Linie ab der oberen Figuren vom Lothe abzuweichen scheint, n neben ihr eine schräge Linie bc sichtbar ist. In den unteren Figu-ist ab das Loth und $a'b$ die scheinbare Richtung von ab. Ebenso t Fig. 273, dass die horizontale Linie ab gegen den Punkt b an-teigen scheint, wenn sich die Linie cb unter spitzem Winkel da-n neigt, während sie gegen b zu fallen scheint, wenn bc sich unter npfem Winkel neigt.

Zwei sich durchkreuzende gerade Linien scheinen hiernach sich

Fig. 272.

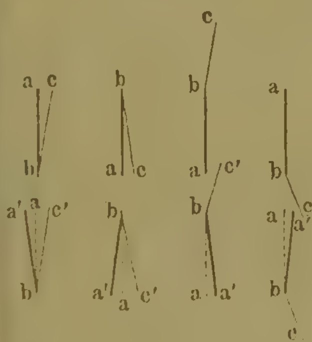
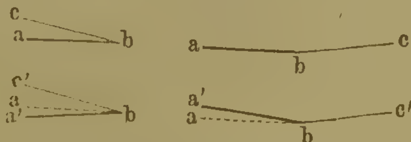


Fig. 273.



stärker gegeneinander zu neigen, sich der normalen Richtung zu nähern, aber sie bleiben beide gerade.

Wird ein System von Parallelen (Fig. 274 a. f. S.) von derselben geraden Linie ab schräg durchschnitten; so scheint sich jedes Verbindungsstück der letzteren

Linie zwischen je zwei Parallelen steiler zu stellen: die schräge Lin erscheint also wellenförmig wie $a'b'$, indem sich die angestrebte For $a''b''$ (Fig. 275) in den Ecken durch Abrundung in Zusammenhang setz

Fig. 274.

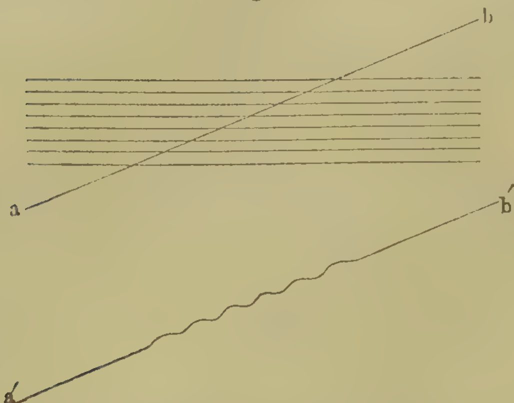
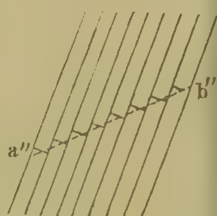


Fig. 275.



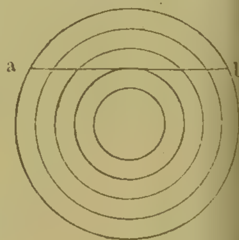
Übrigens wird die letzte Erscheinung bei engen Gittern nach §. 56 No. auch durch Irradiation beeinflusst.

Kommen gerade Linien mit krummen in Kontrast; so kann nicht fehlen, dass die geraden krumm und zwar nach der entgegen gesetzten Seite gekrümmt erscheinen. Man hat hierbei zu beachte dass die Kontrastwirkung sich mit der Grösse der Winkelabweichun immer mehr verliert und dass dieselbe auch bei sehr kleinen Unterschi den nicht beträchtlich sein kann, dass sie also für gewisse Abweichunge ihren Maximaleffekt erreicht. Demgemäss erscheint die Tangente ab a einem Kreise (Fig. 276) nicht gerade, sondern geknickt wie $a'b'$ ode $a''b''$, indem sie an dem Kreise einen entgegengesetzt gekrümmten Boge

Fig. 276.



Fig. 277.



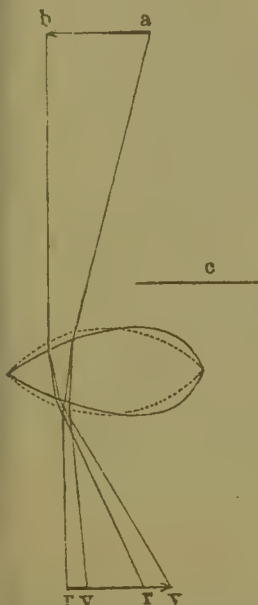
bildet und in grösserer Entfernung vom Berührungspunkte allmählich ihre normale Richtung zurückkehrt. Ebenso erscheint eine durch mehrere konzentrische Kreise gelegte Sehne ab (Fig. 277) gekrümmt wie $a'b'$.

10. Unsymmetrische Affektion der Linse durch nahe Nebenobjekte. Schliesslich müssen wir hier einer Formveränderung erwähnen

welche der Einfluss sehr naher Nebenobjekte durch unsymmetrische Affektion der Linse veranlasst.

Indem wir den Rand des in §. 47 erwähnten Kartenblattes *c* ganz dicht vor dem Gesichte dem Auge von rechts nach links nähern (Fig. 278), werden die von dem entfernteren Objekte *a b* herkommenden Strahlen durch die an der linken Seite sich abplattende Linse mehr nach rechts hin gebrochen. Wenn aber der Netzhautpunkt von *a* nach rechts rückt, scheint der Punkt *a* selbst sich nach links zu bewegen.

Fig. 278.



Offenbar wird der Punkt *a*, für welchen die Axe des Strahlenkegels der Kante des Kartenblattes am nächsten liegt, mehr nach links verrückt werden, als der Punkt *b*.

Hieraus ist klar, dass die sich nähernde Kante des Kartenblattes *c* das Objekt *a b* vor sich her schieben und zusammendrücken wird, während sie gleichzeitig die Kante *a* roth und die Kante *b* violet färbt.

Die besonderen Formveränderungen, welche die Irradiation erzeugt, werden wir in §. 56 und 57 näher betrachten.

§. 49.

Täuschungen und Unvollkommenheiten beim Sehen mit einem Auge.

Es ist schon mehrmals erwähnt worden, dass wenn man beim Blicke auf ein Objekt das eine Auge schliesst oder verdeckt, der Konvergenzwinkel beider Augen sich vermindert. Die Ausserthätigkeitsetzung des einen Auges wirkt also in gewisser Hinsicht wie die Konkurrenz eines entfernteren Objektes. Das sehende Auge unterliegt in Beziehung auf die Konvergenz der Augenaxen einer Wirkung, welche der Akkommodation auf zu grosse Entfernung entsprechen würde. Diess hat zunächst zur Folge, dass bei dem Blicke mit einem Auge alle Gegenstände entfernter erscheinen. Da nun mit der Vergrösserung der Entfernung die scheinbaren Entfernungsunterschiede immer kleiner werden; so schwächt das Sehen mit einem Auge den stereoskopischen Eindruck.

Die Vergrösserung, welche das Sehen mit einem Auge ebenfalls mit sich führen sollte, ist schwach.

In viel höherem Grade, als wegen der scheinbaren Vergrösserung der Entfernung wird übrigens der stereoskopische Eindruck beim Gebrauche eines Auges dadurch geschwächt, dass jetzt keine Affektion

differenter Netzhautstellen, also auch keine so starke Tendenz zur richtigen Akkommodation und Einstellung aller Netzhautelemente mehr stattfindet. Die Akkommodation ist also unvollkommener und die Fähigkeit, scharf zu fixiren, geringer.

Ausserdem ist das Schliessen des einen Auges durch Zudrücken der Augenlider mit einer unsymmetrischen Affektion der Muskeln und Augenlider des anderen Auges verbunden. Hieraus entspringt eine Difformität dieses Auges, welche das normale Sehen beeinträchtigt, insbesondere Verzerrungen, Undeutlichkeiten und Farbendispersionen herbeiführt.

Um Effekte, welche dem Sehen mit einem Auge angehören, zu beobachten, ist es daher immer besser, das eine Auge nicht zu schliessen, sondern nur zu verdecken.

Beim Gebrauch nur eines Auges verliert das Objekt auch etwas an Helligkeit oder Lichtstärke, keineswegs aber um die Hälfte. Die Lichteffekte, welche beim Gebrauche beider Augen von jedem einzelnen Auge auf das Gehirn fortgepflanzt werden, addiren sich nämlich nicht: für einen vollkommenen Organismus würde vielmehr ein Auge genügen, um einen vollkommenen Gesichtseindruck zu erzeugen (vergl. §. 13 No. 1).

§. 50.

Kurzsichtigkeit und Fernsichtigkeit. — Brillen.

1. Äussere Bedingung der Kurz- und Fernsichtigkeit. Manche Augen besitzen nicht die Fähigkeit, für jede Entfernung des Objektes die Strahlenbündel genau auf der Netzhaut zu konzentriren. Mathematische Genauigkeit in dieser Hinsicht wird wohl bei Niemandem stattfinden und es mag schwer sein, die Grenze zu bezeichnen, wo die Normalität des Auges aufhört und diese Abnormität anfängt. Prinzipiell liegt Abnormität bei jeder Abweichung vor, wennauch das praktische Leben erst Das als Fehler bezeichnet, was sich erheblich vom Normalzustande entfernt.

Wenn die Fehlerhaftigkeit darin besteht, dass die Strahlen durch die Linse und die Augenfeuchtigkeiten vor der Netzhaut konzentrirt werden, dass also das Lichtbild vor die Netzhaut in den Glaskörper fällt; so ist das Auge kurzsichtig (myopisch), im entgegengesetzten Falle aber, wo der Konvergenzpunkt der Strahlen oder das Lichtbild hinter die Netzhaut fällt, ist es fern- oder weitsichtig (presbyopisch).

2. Untersuchung über die möglichen Ursachen der Kurz- und Fernsichtigkeit. Die Ursache des einen wie des anderen Fehlers könnte in verschiedenen Umständen gesucht werden und es mögen auch wohl in manchen Fällen mehrere Ursachen zusammenwirken: die grosse Mehrzahl der Fälle wird jedoch, da dieselben sehr zahlreich sind und bei dieser Häufigkeit durchschnittlich gleiche Erscheinungen zeigen, auf denselben Ursachen beruhen.

Was also die Mehrzahl der Fälle oder die Hauptursache von

urzsichtigkeit (*myopia*) und Fernsichtigkeit (*presbyopia*) betrifft; könnte man zunächst fragen, ob dieser Fehler nicht in einer mangelaften Übereinstimmung der Nerventhätigkeit, welche die beiden Augenxen auf das Objekt richtet, mit der übrigen Akkommodationsthäigkeit der optischen Apparate beruhe, so nämlich, dass die genaue instellung der Augenaxen, von welcher bekanntlich die Vereinigung der etzhautbilder beider Augen zu einem einfachen Gesichtseindrucke oder as Einfachsehen abhängt, nicht die genaue Akkommodation der übrien Apparate, welche die Konzentration auf der Netzhaut bevecken, gestattet. Wäre Diess der Grund der Abnormität; so müsste ch dieselbe darin äussern, dass das fehlerhafte Auge, wenn es einfach eht, nicht scharf sieht, und wenn es scharf sieht, doppelt sieht; im Übrien müsste der damit Behaftete die Fähigkeit haben, nach Belieben in er einen oder der anderen dieser beiden Weisen zu sehen, also entweder nfach und ungenau oder doppelt, aber scharf.

Hierin besteht nun die Kurz- und Fernsichtigkeit in der Hauptsache icht. Wenn die Entfernung des Objektes vom Auge die normale Seheite und ein gewisses Maass überschreitet, kann das kurzsichtige uge mit der grössten Anstrengung und wenn es sich auch auf eine ndere als die gegebene Entfernung zu akkommodiren sucht, nicht scharf hen, selbst wenn es durch eine unrichtige Akkommodation die Einachheit des Lichteindruckes opfern wollte. Ebenso kann das fernsichge Auge sehr nahe Objekte durchaus nicht scharf sehen. Ausserdem eben sich diese Fehler bei dem damit Behafteten sowohl beim Sehen mit inem Auge, als auch beim Sehen mit zwei Augen zu erkennen. Die onvergenz der Augenaxen spielt also dabei keine wesentliche Rolle.

Wenn nun die eben besprochene Nichtübereinstimmung zwischen den inzelnen Akkommodationsakten nicht die Hauptursache der urz- oder Fernsichtigkeit sein kann; so muss es sogar als zweifelhaft rscheinen, ob sie überhaupt auf den Titel einer Nebenursache Anspruch at. Wahrscheinlicher ist es, dass diese Nichtübereinstimmung der Akommodationsakte nur eine Folge des Fehlers ist, welcher die Kurzd Fernsichtigkeit prinzipiell bedingt.

Als zweite mögliche Ursache des fraglichen Fehlers könnte ein abormer Grad von Reizbarkeit der Netzhaut bei der Affektion des ichtes angesehen werden. Man müsste dann annehmen, dass das kurzchtige Auge zu reizbar wäre, sodass sich die Augenaxe zu sehr erlängerte, wogegen das fernsichtige Auge zu wenig reizbar äre, sodass die Augenaxe nicht die nöthige Länge annähme.

Wenn sich wirklich das kurzsichtige Auge in mancher Hinsicht häufig izbarer zeigt, als das normale; so kann doch in dem zu hohen, resp. zu iedrigen Grade von Reizbarkeit der Netzhaut nicht die eigentliche rsache der Kurz- und Fernsichtigkeit gefunden werden, da sich dieser ehler bei jedem Grade der Beleuchtung in gleicher Stärke zeigt. as kurzsichtige Auge sieht einen dunklen Gegenstand nicht schärfer s einen hellen; im Gegentheil ist ihm häufig erhöhte Lichtstärke ein edürfniss zum deutlichen Sehen: ebenso sieht das fernsichtige Auge einen ellen Gegenstand nicht schärfer als einen dunklen.

Möglicherweise kann die Hauptursache der Kurz- und Fernsichtig-

keit auch in den optischen Apparaten liegen, und dieselbe kann ebensowohl in der Form, wie in den Dichtigkeitsverhältnissen, wie in den relativen Dimensionen gesucht werden. Mir däucht, dass weder die Form der Linse (d. h. deren geometrische Gestalt), noch die Dichtigkeit dieses und der übrigen brechenden Körper die wesentliche und allgemeine Ursache jenes Fehlers sei, wiewohl in vereinzelten Fällen abnorme Verhältnisse in diesen Beziehungen den Fehler erhöhen oder auch ausschliesslich bedingen mögen. Denn wäre Form und Dichtigkeit jener Körper häufig so fehlerhaft, dass sie trotz der Akkommodationsanstrengung den Konvergenzpunkt der Lichtstrahlen weit von der Netzhaut entfernt hielten; so müssten zwei gewisse Augenfehler ebenso häufig wie Kurz- und Fernsichtigkeit vorkommen, welche in der That gar nicht häufig sind. Diese beiden Fehler beständen darin, dass das Auge alle Objekte mit farbigen Säumen umzogen sähe und dass es in keiner Entfernung deutlich, auch durch keine gewöhnliche Brille in allen Entfernungen scharf zu sehen vermöchte.

Durch die Form und Dichtigkeit der brechenden Körper ist nämlich vor allen Dingen der Achromatismus und der Aplanatismus des Auges bedingt, und grosse Fehler in jenen Verhältnissen müssen nothwendig grosse Fehlerhaftigkeit in Beziehung auf Farben- und Strahlenzerstreuung erzeugen.

3. Wirkliche Ursache der Kurz- und Fernsichtigkeit. Da Fehler der letzteren Art selten sind; so muss die Ursache der Kurz- und Fernsichtigkeit vorzugsweise in unrichtigen Dimensionen des Auges, namentlich in einem abnormen Abstande der Linse von der Netzhaut liegen. Dieser Abstand kann aber nicht nach seiner absoluten Dimension, sondern nur in seiner relativen Grösse im Vergleich mit der Wölbung der Linse ein abnormer genannt werden. Verglichen mit den normalen Dimensionen des Gesammtkörpers, kann also die Abnormität auch in einer abnormen Wölbung der Linse oder in den vorstehenden beiden Abnormitäten zugleich liegen.

Hiernach besässe ein kurzsichtiges Auge eine zu lange Augenaxe oder eine zu stark gewölbte Linse und ein fernsichtiges eine zu kurze Augenaxe oder eine zu flache Linse.

Wenn man von einer zu langen oder zu kurzen Augenaxe oder von einem zu dichten oder zu dünnen brechenden Medium reden will, muss man das Kriterium der normalen Länge, der normalen Dichtigkeit angeben. Diess kann aber offenbar nicht nach absoluten Dimensionen oder äusseren Verhältnissen, sondern nur mit Beziehung auf die Thätigkeit des Akkommodationsapparates geschehen. Entwickelt der Akkommodationsapparat in Folge der Induktion des Sehnerven eine zu geringe Kraft; so ist das Auge so gut fernsichtig, wie wenn es eine zu kurze Augenaxe oder eine zu dichte Linse hätte: entwickelt derselbe dagegen eine zu grosse Kraft; so ist das Auge kürzsichtig, wie wenn es eine zu lange Augenaxe hätte.

Kurzsichtigkeit kann also ebensowohl durch eine zu starke Thätigkeit des Akkommodationsapparates wie durch eine zu lange Augenaxe bedingt sein, und Ersteres ist gewiss dann der Fall,

nn der Kurzsichtige konvergirend schielt, weil mit jener zu star- n Akkommodationsthätigkeit auch eine zu starke Konvergenz der Augen- en verbunden ist. Fernsichtigkeit dagegen kann ebensowohl auf ıer zu schwachen Thätigkeit des Akkommodationsapparates, e auf einer zu kurzen Augenaxe beruhen, und Ersteres ist gewiss nn der Fall, wenn der Fernsichtige divergirend schielt.

Der Effekt ist in beiden Fällen nahezu derselbe und es ist möglich, ss in der Wirklichkeit beide Ursachen vorkommen; ich bin übrigens r Meinung, dass die Ursache der unverhältnissmässigen Funk- nirung des Akkommodationsapparates im Allgemeinen die vor- ltende ist und hieraus erklärt sich denn auch ungezwungen die grössere ufigkeit der Kurzsichtigkeit in der Jugend und der Fernsich- gkeit im Alter, ferner das häufige konvergirende Schielen der urzsichtigen und das divergirende Schielen der Fernsichtigen. dlich erklärt sich daraus, wie ein normales Auge, welches lange ange- engt auf kurze Sehweite gebraucht ist, vorübergehend kurzsichtig ., weil durch diese Anstrengung der Akkommodationsapparat zu zbar geworden ist, und wie ein solches Auge durch lange Unthätigkeit, mentlich im Dunkeln, vorübergehend fernsichtig ist, weil der Akkom- odationsapparat zu träge geworden ist.

Übrigens ist die eben besprochene abnorme Kraft des Akkommo- tionsapparates nicht mit der in vorstehender Nummer verworfenen ab- rmen Reizbarkeit der Netzhaut gegen die Lichtaffektion zu ver- chseln.

4. Bestätigung durch Veränderung der Akkommodation. Be- tigt wird die vorstehende Annahme durch die schon erwähnte That- he, dass ein Kurzsichtiger ein Objekt schärfer sieht, wenn er sein Auge f eine grössere Entfernung zu akkommodiren, also die Augenaxe zu rkürzen oder die Akkommodationsanstrengung zu ermässigen sucht, hrend bei dem Fernsichtigen derselbe Effekt durch eine Akkommodation f eine kleinere Entfernung, also durch Verlängerung der Augenaxe er Verstärkung der Akkommodationsanstrengung erzielt wird.

5. Bestätigung durch die mittlere Sehweite der Kurz- und rnsichtigen. Ein fernerer Beleg liegt in folgendem Umstande, wel- er dem fraglichen Fehler den Namen der Kurz- und Fernsichtigkeit geben hat. Wenn ein Kurzsichtiger das Objekt seinem Auge nähert; so ckt der Konvergenzpunkt der Strahlenbündel zwar immer weiter von der nse fort, also der Netzhaut entgegen: da sich aber gleichzeitig die nse immer weiter von der Netzhaut entfernt und stärker wölbt; so tritt ch fürs erste noch kein deutliches Sehen ein; das Lichtbild erreicht ch nicht die Netzhaut. Diess findet statt, solange die Entfernung des jektes noch grösser ist, als die Weite des deutlichen Sehens eines nor- len Auges von 8 bis 10 Zoll. In allen Entfernungen, welche grösser d, vermag das kurzsichtige Auge nicht deutlich zu sehen. Bei fort- setzter Annäherung des Objektes unterhalb der mittleren Seh- eite wird aber, selbst für das kurzsichtigste Auge eine Entfernung reicht, wo das Lichtbild genau in die Netzhaut fällt, weil bei grösserer

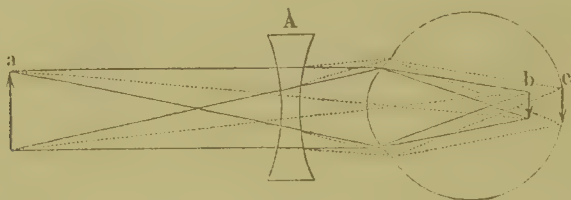
Annäherung der Konvergenzpunkt der Strahlen in jedem Auge sich in raschem Wachsthume von der Linse entfernt, endlich die Netzhaut überschreitet und zuletzt sogar in unendliche Ferne rückt. Das wenig kurzsichtige Auge sieht also in einer so nahen Entfernung deutlich, wo das normale Auge nur noch mit Anstrengung deutlich zu sehen vermag; bei dem sehr kurzsichtigen Auge ist diese Entfernung des deutlichen Sehens so klein, dass das normale Auge darin durchaus nicht mehr deutlich sehen kann, weil das Lichtbild zu weit hinter seine Netzhaut fällt.

Das fernsichtige Auge vermag in Entfernungen, welche kleiner oder nur wenig grösser sind als die mittlere Sehweite eines normalen Auges, nicht deutlich zu sehen. Ist das Auge nicht zu sehr fernsichtig; so ist eine gewisse Entfernung des Objektes ausreichend, um den Konvergenzpunkt der Strahlen auf die Netzhaut zu führen: ein solches Auge sieht dann dasselbe Objekt scharf in grösseren Entfernungen, als das normale Auge. Übersteigt jedoch die Fernsichtigkeit einen gewissen Grad, d. h. ist die Augenaxe viel zu kurz, nämlich so kurz, dass selbst parallele oder aus unendlicher Entfernung kommende Strahlen noch hinter der Netzhaut konvergiren; so kann das Auge in gar keiner Entfernung deutlich sehen.

6. Bestätigung durch die Wirkung der Brillen. Der dritte Beweis für die zuletzt bezeichnete Ursache der Kurz- und Fernsichtigkeit liegt in dem künstlichen Hülfsmittel, welches diesen Fehler aufhebt. Diess sind die Brillen aus einfachen Gläsern mit konkaven oder konvexen Flächen. Ein solches Glas kann nur den Konvergenzpunkt verrücken, nicht aber den Achromatismus oder bei mangelhafter geometrischer Form der Linse den Aplanatismus herbeiführen, auch nicht die Wirkung etwaiger Missverhältnisse zwischen den einzelnen Akkommodationsakten oder abnormer Reizbarkeit der Netzhaut beseitigen. Eine Verrückung des Konvergenzpunktes neutralisirt aber die fehlerhafte Länge der Augenaxe oder auch die fehlerhafte Energie des Akkommodationsapparates.

Da das Objekt a im kurzsichtigen Auge (Fig. 279) das Bild b

Fig. 279.



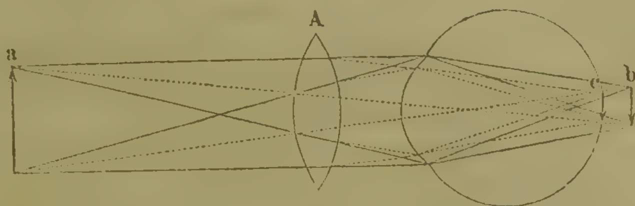
vor der Netzhaut entwirft; so wird ein konkaves Brillenglas A, überhaupt eine Zerstreuungslinse (Fig. 280), welche in der Mitte dünner als am Rande ist, indem sie auf die Lichtbündel zerstreuend wirkt, also den Brennpunkt des aus dem Auge bestehenden optischen Apparates zurückschiebt, bewirken, dass das Lichtbild c auf die Netzhaut fällt, dass also das Auge deutlich sieht.

Fig. 280.



Das fernsichtige Auge (Fig. 281), bei welchem das Lichtbild b es Objektes a hinter die Netzhaut fällt, bedarf eines konvexen Glases A

Fig. 281.



der einer Sammellinse (Fig. 282), welche in der Mitte dicker als am Rande ist, um die Strahlen stärker konvergirend zu machen oder den Brennpunkt des Systemes näher heranzurücken und dadurch das Lichtbild c auf die Netzhaut zu bringen.

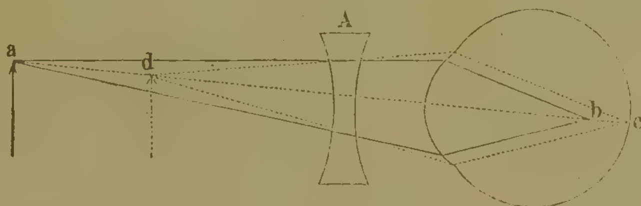
Fig. 282.



7. Einfluss der Brille auf die Grösse und Entfernung des Objektes. Indem die Brille das Lichtbild auf die Netzhaut führt und ladurch das Auge zum deutlichen Sehen befähigt, äussert sie eine besonlere optische Nebenwirkung, welche darin besteht, dass sie die scheinbare Grösse und Entfernung des Objektes verändert.

Wenn in Fig. 283 die ausgezogenen Linien sich auf das wirkliche Objekt a ohne Anwendung eines Glases beziehen, sodass b alsdann das

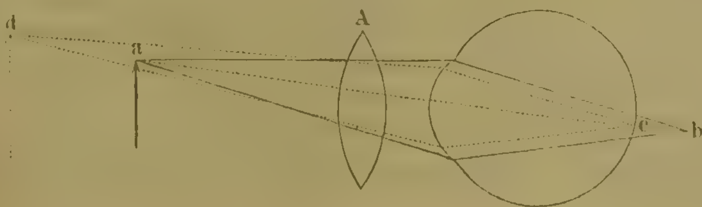
Fig. 283.



Lichtbild ist, während sich die punktirten Linien auf die Wirkung des konkaven Glases A beziehen, sodass hierdurch das Bild nach c gerückt wird; so ist klar, dass die vom Glase abgelenkten, schwächer konvergirenden Strahlen beim Eintritte in das Auge genau denselben Eindruck machen müssen, wie wenn sie ohne Ablenkung von einem Objekte d herkämen, welches kleiner ist als das wahre Objekt a und näher liegt.

Die Anwendung eines konvexen Glases nach Fig. 284 bringt die

Fig. 284.



umgekehrte Wirkung hervor. Sie substituirt für das wirkliche Objekt *a* ein scheinbares *d*, welches grösser ist und entfernter liegt.

Kleiner werden und näher rücken, sowie grösser werden und weiter rücken heben sich zwar in ihrem physiologischen Effekte bis zu einem gewissen Grade auf. Wir wissen aber aus §. 24, dass die scheinbare Grösse eines Objektes bei mässigen Entfernungen nur wenig variirt, wennauch die Entfernung sich erheblich ändert, und dass erst bei Entfernungen, welche im Vergleich zu den Dimensionen des Objektes bedeutend sind, die scheinbare Grösse im direkten Verhältnisse zum Sehwinkel steht.

Nun liegt jeder Punkt *a* des wirklichen und der entsprechende Punkt *d* des scheinbaren Objektes in demselben Kegel, dessen Basis die kleine Pupille des Auges ist; die beiden Punkte *a* und *d* liegen also nahezu in einer durch den Kreuzungspunkt des Auges gehenden geraden Linie. Diese Thatsache findet übrigens nur statt, solange das Glas *A* dicht vor das Auge gehalten oder als Brille gebraucht wird, weil für diesen Fall die Basen des gebrochenen und des ungebrochenen Strahlenkegels am Auge nahezu einunddemselben Kegeldurchschnitte in dem Glase entsprechen. Aus Vorstehendem folgt, dass sowohl in Fig. 283 als auch in Fig. 284 die Grösse des scheinbaren Objektes in direktem Verhältnisse mit seiner scheinbaren Entfernung vom Auge sich verändert oder dass der Sehwinkel durch die Brille nicht geändert wird. Wiche also der physiologische Effekt nicht von dem geometrischen etwas ab; so würde eine Brille keine Vergrösserung oder Verkleinerung hervorbringen. In Wirklichkeit erscheint aber das scheinbare Objekt *d*, wenn es nahe ist, nahezu in der ihm zukommenden Grösse, und wenn es entfernt ist, proportional seinem Sehwinkel. Demgemäss wird eine konkave Brille die nahen Objekte verkleinern und eine konvexe Brille wird sie vergrössern. Ein sehr entferntes Objekt würde jedoch weder durch die eine noch durch die andere Brille in ihrer scheinbaren Grösse verändert werden, wenn das scheinbare Objekt *d* ebenfalls in grosser Entfernung vom Glase *A* läge: denn das letztere ist es ja allein, welches durch die Brille gesehen wird. Brillen von so grosser Brennweite, welche eine solche Entfernung des Objektes bewirkten, kommen aber nicht vor, weil sie eben keinen erheblichen Effekt haben würden. Das scheinbare Objekt liegt vielmehr immer in naher Entfernung vom Auge. Demgemäss verkleinert jede konkave Brille, während jede konvexe vergrössert und zwar entspricht die scheinbare Grössenveränderung dem Verhältnisse, in welchem die absolute Grösse des scheinbaren Objektes *d* zur Grösse des wirklichen Objektes *a* steht.

Die letztere Wirkung tritt übrigens in aller Reinheit nur bei einem normalen Auge ein, welches sich einer Brille bedient und sich sowohl ohne Brille auf das wirkliche Objekt *a*, wie mit der Brille auf das scheinbare Objekt *d* genau akkommodirt. Im abnormen Auge, welches sich ohne Brille nicht genau auf das Objekt zu akkommodiren vermag, modifizirt sich der Effekt etwas.

Um nämlich ein Objekt deutlich sehen zu können, muss der Kurzsichtige dasselbe dem Auge sehr nahe bringen. Diese grosse Annähe-

ng nöthigt sein Auge zu einer erheblichen Konvergenz oder Akkomodationsanstrengung. Beim Gebrauche der konkaven Brille kann das Objekt aus viel grösserer Entfernung betrachten; sein Auge bedarf ıer so bedeutenden Anstrengung nicht: dasselbe akkommodirt sich elmehr auf eine grössere Entfernung und hiermit ist, da der Sehwinel derselbe bleibt, nach §. 24 die physiologische Täuschung der Verösserung verbunden. Durch diese physiologische Vergrösserung wird e Wirkung der zuerst gedachten absoluten Verkleinerung mehr oder eniger aufgehoben. Die konkave Brille verkleinert daher vor dem kurzchtigen Auge weniger als vor dem normalen. Mit der Stärke der Brille ächst jedoch die Verkleinerung und endlich wird sogar eine solche Stärke reicht, dass das Lichtbild im Auge hinter die Netzhaut selbst des urzsichtigen fällt, dass also alle Ausgleichung durch die physiologische ergrösserung wegfällt und das Resultat eine starke Verkleinerung ist.

8. **Passende Stärke der Brille.** Eine passende Brille hinsichth der Stärke für den Kurzsichtigen darf nicht stark verkleinern (wenn ıs Auge noch keine Brille getragen hat, muss dasselbe sogar erst durch hwache Gläser daran gewöhnt werden). Ist die Brille zu scharf, also ark verkleinernd, sodass sich das Auge beim Gebrauche der Brille noch ehr als ohne dieselbe verlängern muss; so verschlimmert die rille das Übel. Ist die Brille zu schwach; so gewährt sie keinen enügenden Schutz vor derjenigen allmählichen Verschlechterung des uges, welche auch dann eintritt, wenn gar keine Brille getragen, essenungeachtet aber das Auge auf nahe Objekte anstrengend gebraucht ird. Denn in diesem Falle wird das Auge nicht hinreichend vor der urch seine fehlerhafte Konstitution bedingten häufigen starken Verlängeung bewahrt; dasselbe geht also einer allmählichen Verschlechterung ıtgegen, insofern nicht durch den allgemeinen Lebensprozess eine Veresserung dieser Abnormität eintritt.

Etwas Ähnliches gilt von der konvexen Brille und der Fernsichgkeit. Die konvexe Brille vergrössert im normalen Auge. Im fernchtigen Auge tritt eine Kompensation dadurch ein, dass das Auge mit er Brille die Objekte oder vielmehr die scheinbaren Objekte aus grösserer ähe betrachten kann. Demnach vergrössert vor einem solchen Auge ne Konvexbrille weniger wie vor einem normalen. Eine passende Brille ringt weder Verkleinerung noch Vergrösserung hervor.

Eine zu starke Brille, welche also stark vergrössert, vermehrt das bel der Fernsichtigkeit; eine zu schwache schützt zu wenig vor der atürlichen Verschlechterung.

9. **Konvergenz der Augenaxen. — Sehweite beim Blicke durch ie Brille.** Vor ein normales oder abnormes Augenpaar c, c' sei eine onkave Brille (Fig. 285 a. f. S.) oder eine konvexe (Fig. 286) so gestellt, ass die Mittelpunkte b, b' der Brillengläser gerade vor den Mittel- oder Drehungspunkten c, c' der beiden Augen liegen, sodass lso die Linien $bc, b'c'$ der Kopfaxe ag parallel sind und die Brillengläser $, b'$ in derselben Richtung normal auf der Kopfaxe stehen. a sei ein in

der Kopfaxe liegender Objektpunkt. Der von a ausgehende Strahlenkegel wird durch jedes Brillenglas so gebrochen, wie wenn er von dem Bildpunkte d, d' herkäme. Wenn der Strahlenkegel ab nicht gar zu sehr gegen die Axe des Brillenglases geneigt ist, liegt der Bildpunkt d, d' ziemlich genau in der von b nach a, resp. von b' nach a gezogenen Linie. Für ein konkaves Glas liegt das scheinbare Objekt d dem Auge näher, als das wirkliche; für ein konvexes Glas dagegen liegt es entfernter.

Fig. 285.

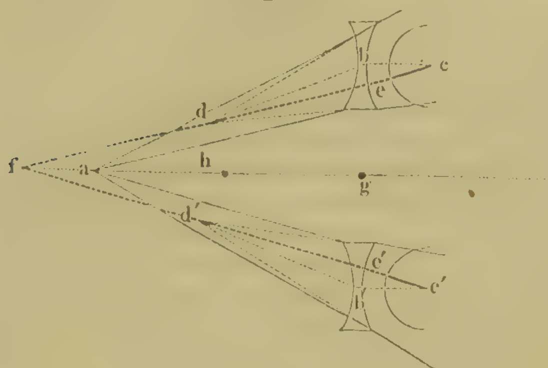
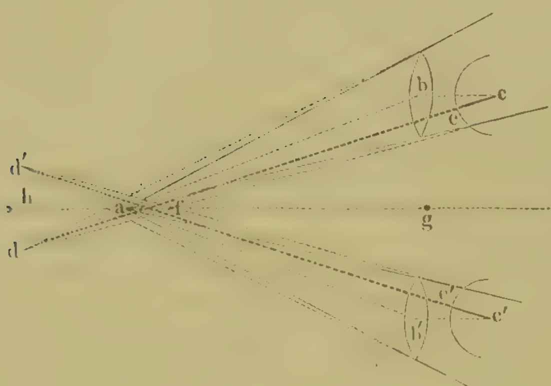


Fig. 286.



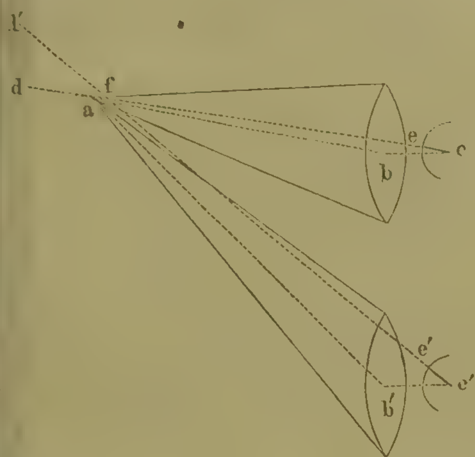
Das Auge stellt sich nun offenbar so, dass die in die Pupille fallenden Strahlen des gebrochenen Kegels in gerader Richtung eintreten oder dass die Axe des von der Pupille abgegrenzten kegelförmigen Theiles des Gesammtkegels mit der Augenaxe zusammenfällt. Die Augenaxe ce richtet sich also auf den Punkt d und die Augenaxe $c'e'$ auf den Punkt d'. Verlängert man diese Richtungen ce und $c'e'$ der beiden Augenaxen; so treffen sich dieselben in einem Punkte f der Kopfaxe, welche bei der konkaven Brille entfernter, bei der konvexen dagegen näher liegt, als das Objekt a.

Beim Gebrauche der konkaven Brille akkommodiren sich also die Augen auf eine kleinere Entfernung cd, richten sich aber auf einen entfernteren Punkt f, oder konvergiren schwächer: beim Gebrauche der konvexen Brille dagegen akkommodiren sich die Augen auf eine grössere Entfernung cd, richten sich aber auf einen näheren Punkt oder konvergiren stärker. Die Brille bewirkt also nicht bloss eine Veränderung der Akkommodation, sondern auch eine Veränderung der Konvergenz der Augenaxen und zwar in widerstreitendendem Sinne.

Das vorstehende Resultat ist von der absoluten Entfernung des Objektes a ganz unabhängig. Dasselbe bleibt auch dann noch bestehen, wenn das Objekt a aus der Kopfaxe seitwärts rückt (Fig. 287). Je

her das Objekt ans Auge oder je weiter es aus der Kopfaxe rückt, das heisst je stärker sich die Hauptstrahlen ab gegen die Axen der Gläser neigen, desto mehr weicht zwar nach §. 8 No. 18 die Axe des gebrochenen Kegels von der Axe des nicht gebrochenen ab: allein diese Abweichung ist für die Lagen des Objektes, in welchen dasselbe überhaupt noch deutlich geschehen werden kann, so unbedeutend, dass wir dieselbe hier nicht zu berücksichtigen brauchen: ausserdem wird dadurch das vorstehende Resultat in seiner Allgemeinheit nicht geändert.

Fig. 287.



Die Abweichung der Richtungen cf, $c'f$ (Fig. 285 und 286), welche die Augenaxen annehmen, von den direkt nach dem Objekte a führenden Linien ca, $c'a$ ist gering und wird umso geringer, je entfernter das Objekt ist, weil alsdann der Abstand cb des Brillenglases vom Mittelpunkte des Auges umso mehr gegen die Entfernung ca verschwindet. Demnach ist auch das durch eine gewöhnliche Brille erzeugte Schielen unbedeutend. Für eine bestimmte Entfernung ca liesse sich dieses Schielen sogar vermeiden, indem man die Brillengläser normal auf die Richtungen ca, $c'a$ stellte.

Durch eine solche, auf eine bestimmte Sehweite eingestellte Brille würde das Auge für die näher liegenden Objekte in vorstehender Weise, nämlich das kurzsichtige divergent und das fernsichtige konvergent schielen, wogegen es für die entfernter liegenden Objekte in umgekehrter Weise schielen würde.

Lassen wir nun das beim Gebrauche einer gewöhnlichen Brille stattfindende Schielen als etwas Unbedeutendes auf sich beruhen, oder nehmen wir an, es finde gar nicht statt, die Augenaxen richteten sich also genau auf das Objekt; so bleibt doch immer als wesentliches Resultat der vorstehenden Untersuchung Das zurück, dass die Sehweite cl, auf welche sich das Auge akkommodiren muss, dem Konvergenzwinkel cac' der Augenaxen nicht entspricht.

Die Annahme, dass ein Augenpaar durch eine Brille, deren Gläser direkt auf das Objekt gerichtet sind, ebenso sehen würde, wie ein freies Augenpaar beruht daher auf einem schweren Irrthume (vgl. No. 11).

10. Wechsel der Brille mit der Entfernung. Einunddieselbe Brille kann nicht für jede Entfernung gleich gut sein. Es ist nicht bloss möglich, sondern in vielen Fällen faktisch, dass dem Auge für den Blick in verschiedene Entfernungen mit verschiedener Kraft der Vergrösserung oder Verkleinerung zu Hülfe gekommen werden muss. Diess lässt sich nicht mit derselben Brille, sondern nur durch einen Wechsel der Brille erreichen.

Der Kurzsichtige kann sehr nahe und der Fernsichtige sehr entfernte Objekte ohne Brille sehen. Es leuchtet daher ein, dass der Kurzsichtige zur Betrachtung entfernterer Objekte und dass der Fernsichtige zur Betrachtung näherer Objekte einer stärkeren Brille bedarf.

Was die Stellung der Brillengläser betrifft; so wird man dieselbe im Allgemeinen nicht normal gegen die Stirnaxe, sondern so weit geneigt nehmen, dass die Axen der Gläser den Richtungen ca, $c'a$ auf ein Objekt a entsprechen, welches in der mittleren Entfernung liegt, für welche die Brille wesentlich gebraucht werden soll.

11. Kombinations- und exzentrische Brillengläser. — Orthoskopische Brille. Das in No. 9 gefundene Resultat führt zu einer wichtigen Anwendung auf die Konstruktion der Brillen. Wir haben gesehen, dass sowohl die konkave, wie die konvexe Brille das normale wie das abnorme Auge bei jeder Sehweite und jeder Lage des Objektes zwingt, sich auf eine andere Entfernung cd zu akkommodiren, als dem Konvergenzwinkel cac' entspricht. Daraus folgt, dass jede gewöhnliche Brille für jede Sehweite fehlerhaft ist, dass sie kein deutliches Sehen zulässt und unangenehm und nachtheilig auf das Auge wirkt.

Die nothwendige Akkommodationsveränderung, also die Stärke der Brille für eine bestimmte Sehweite ist durch die Fehlerhaftigkeit des Auges direkt gegeben: hieran ist Nichts zu ändern. Es handelt sich also nur darum, die widersprechende Konvergenz zu beseitigen. In dieser Hinsicht kömmt es nun nicht darauf an, jede Änderung der Konvergenz oder das Schielen zu verhüten, also zu bewirken, dass die Augenaxen auf das wirkliche Objekt a gerichtet bleiben, sondern es kömmt im Gegentheil darauf an, zu bewirken, dass die Konvergenz der Augenaxen sich im Einklange mit dem Akkommodationszustande ändert: das durch eine Brille blickende Auge muss schielen, aber in richtigem Verhältnisse.

Hiernach besteht die Aufgabe darin, dass die Augen c, c' (Fig. 285 und Fig. 286), welche vorher ohne Brille auf das Objekt a blickten und sich auf dieses Objekt so gut es ihnen nach ihrer Konstitution möglich war, akkommodirten, indem sie sich beim Aufsetzen der Brille auf die kleinere, resp. grössere Entfernung cd akkommodiren, also ihre Axenlänge verlängern, resp. verkürzen, auch gleichzeitig ihren Konvergenzwinkel vergrössern, resp. verkleinern. Welches Maass für diese Konvergenzveränderung das richtige sei, mag bei abnormen Augen etwas von der Individualität abhängen und ist demgemäss durch den Versuch festzustellen. Bei normalen Augen, welche sich einer Brille etwa zum Zwecke der Vergrösserung oder Annäherung oder der grösseren Deutlichkeit bedienen wollten, ist dieses Maass unzweideutig durch die Bedingung gegeben, dass sich die Augenaxen auf den Punkt h der Kopfaxe richten müssen, welcher in der Entfernung $ch = cd$ liegt. Wie gesagt, mögen kurz- und fernsichtige Augen zuweilen ein anderes Verhältniss verlangen: in der Mehrzahl der Fälle dürfte jedoch das vorstehende natürliche Verhältniss zwischen der

kkommodations- und Konvergenzveränderung auch bei abormen Augen das passende sein.

Um die Augen zu induziren, sich in die Richtungen *ch*, *c'h* zu stellen, ist weiter Nichts erforderlich, als dafür zu sorgen, dass die Spitze des ebrochenen Strahlenkegels oder dass das Bild des Objektes *a* in den unkt *h* falle, dass also der durch das gewöhnliche Brillenglas gebrochene trahlenkegel noch um den Winkel *dch* abgelenkt werde.

Durch Drehung oder Verschiebung der gewöhnlichen Brillenläser lässt sich dieser Effekt praktisch nicht erreichen. Denn geinge Drehungen und Verschiebungen haben fast gar keinen Einfluss auf en Ort des Bildes (§. 8 No. 18), bedeutende Drehungen und Verschieungen sind aber theils wegen der damit verbundenen erheblichen Aberraion, Verzerrung und Lichtschwächung, wegen der gegebenen Entfernung er beiden Augäpfel und aus anderen Gründen unpraktisch.

Übrigens bemerke ich, dass zur Hervorbringung dieses Effektes sowohl die Brillengläser des Fernsichtigen (Fig. 288) als auch die des Kurzsichtigen (Fig. 289) stark einwärts gebogen werden müssten,

Fig. 288.

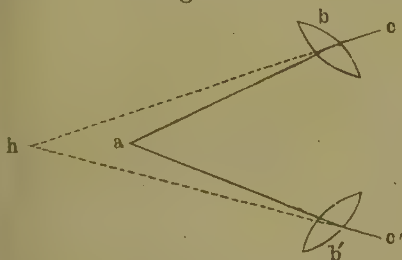
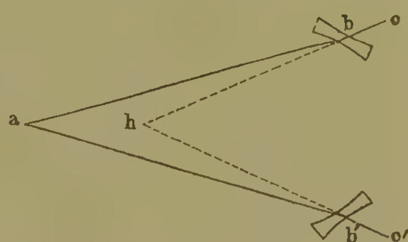


Fig. 289.



was aus der Verrückung der Linsenbilder bei sehr schrägen Hauptstrahlen aus §. 8 No. 18 klar hervorgeht.

Auch die Annäherung der beiden Brillengläser an einander erhöht die fragliche Wirkung etwas, jedoch ebenfalls nur wenig.

Ein praktischeres Mittel würde darin bestehen, mit der gewöhnlichen Brille *b*, *b'* (Fig. 290 und 291) eine prismatische Brille *p*, *p'* zu

Fig. 290.

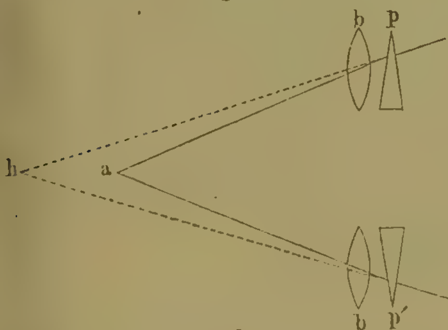
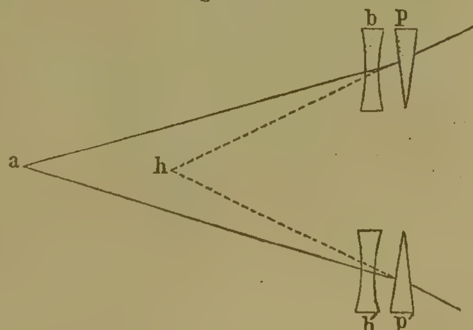


Fig. 291.



verbinden (§. 15 No. 2). Die konvexe Brille des Fernsichtigen erfordert offenbar eine prismatische Brille, deren brechende Winkel nach aussen liegen: die konkave Brille des Kurzsichtigen dagegen erfordert eine prismatische Brille, deren brechende Winkel nach innen gekehrt sind.

Es ergeben sich hierdurch die schon in §. 15 No. 2 als Hülfsmittel gegen das Schielen beschriebenen Kombinationsgläser.

In Folge dieser Kombination muss der Fernsichtige in Beziehung auf das Objekt *a* divergent nach *h* schielen, während der Kurzsichtige konvergent zu schielen oder die Augenaxen auf eine noch kürzere Entfernung einzustellen genöthigt wird.

Die Verdopplung der Brille wird nicht bequem sein. Zweckmässiger erscheint daher eine sofortige Vereinigung des gewöhnlichen und des prismatischen Brillenglases zu einem einzigen prismatischen Konvex- oder Konkavglase oder zu einem exzentrischen Glase. Die richtig konstruirte oder orthoskopische Brille des Fernsichtigen besteht also aus zwei exzentrischen plankonvexen oder doppelkonvexen Gläsern *b*, *b'* oder *c*, *c'* (Fig. 292), deren grösste Dicke nach innen gekehrt ist. Die orthoskopische Brille des Kurzsichtigen dagegen besteht aus exzentrischen plankonkaven oder doppelkonkaven Gläsern *b*, *b'* oder *c*, *c'* (Fig. 293) deren grösste Dicke nach aussen gekehrt ist.

Fig. 292.



Fig. 293.



Die Brille für den Kurzsichtigen ist hiernach von derselben Art wie die Brille einwärts schielender Augen der zweiten Klasse (§. 15, No. 3) und die Brille für den Fernsichtigen von derselben Art wie die Brille auswärts schielender Augen der zweiten Klasse. Diese Beziehung leuchtet ein, wenn man erwägt, dass Kurzsichtigkeit und Einwärtsschielen insofern gleichartige Fehler sind, also sie auf zu stark gespannten Organen beruhen, während Fernsichtigkeit und Auswärtsschielen durch zu schwache Spannungen erzeugt werden, ferner dass die erwähnten Brillen in beiden Fällen nicht den Fehler beseitigen, sondern das Auge sogar zu einer Erhöhung seiner abnormen (zu starken, resp. zu schwachen) Thätigkeit nöthigen, aber bewirken, dass das optische Bild auf der Netzhaut richtig zu Stande kömmt (wogegen die Brillen für schielende Augen der ersten und dritten Klasse nach §. 15, No. 2 den Fehler beseitigen, das Auge zur Verminderung seiner abnormen Thätigkeit nöthigen sollen, also eine umgekehrte Stellung der Gläser haben müssen.

Beim Stereoskope sind die exzentrischen Konvexgläser schon lange in Gebrauch. Selbstverständlich müssen jedoch für den Zweck dieses Instrumentes, welches die Konvergenz der Augenaxen verstärken soll, die grössten Glasdicken nach aussen gekehrt sein *).

---

*) Während des Druckes dieser Schrift, wovon das Manuskript sich schon im August 1863 in den Händen des Verlegers befunden hat, ist Herrn Krämer zu Braunschweig ein Patent auf eine Brillenkonstruktion ertheilt worden. Nach Dem, was hierüber verlautet, handelt es sich dabei um eine Brille für Fernsichtige, und aus den darüber erhaltenen unvollständigen Mittheilungen glaube ich schliessen zu dürfen, dass diese Brille aus den vorhin beschriebenen exzentrischen Konvexgläsern besteht, also eine stereoskopische Brille mit umgedrehten Gläsern ist.

Durch eine orthoskopische Brille kann ein normales Auge so gut ıen, wie ein abnormes. Selbstverständlich ist jedoch die Sehweite, für lche eine solche Brille brauchbar ist, für jedes Auge verschieden.

Ausserdem hebe ich folgende Wirkungen der othoskopischen Brille rvor.

Zwei nicht schielende Augen, gleichviel ob ganz normal, ob kurz- er fernsichtig, müssen schielen, solange sie durch eine solche Brille cken. Beim Gebrauche einer orthoskopischen Konkavbrille schielen Augen einwärts und beim Gebrauche der Konvexbrille auswärts. mnach wird jeder Kurzsichtige, welcher sich einer solchen Brille be- nt, einwärts, jeder Fernsichtige dagegen auswärts schielen.

Dieses Schielen während des Gebrauches der Brille ist aber nur ein ıönheitsfehler, welcher nur so lange dauert, als die Brille benutzt wird. sselbe hinterlässt keine nachtheiligen Folgen, weil Konvergenz und Ak- mmodation im richtigen Verhältnisse stehen und nur das Objekt schein- r seinen Ort ändert.

Beim Gebrauche einer gewöhnlichen Brille schielen die Augen cht oder doch nur wenig: da aber jetzt ein Missverhältniss zwi- ıen Konvergenz und Akkommodation besteht; so entsteht eine Dege- rration des Sehorgans, welche bewirkt, dass die Augen bei der nahme der Brille schielen, indem sich durch den Zwang der Brille ıes Missverhältniss allmählich mehr oder weniger zum organischen Feh- ausbildet. Der Kurzsichtige wird durch eine gewöhnliche Konkav- ille genöthigt, auf kürzere Enfernungen zu sehen, als der Konver- nz entspricht: für die durch die Brille erzeugte Sehweite ist also die nvergenz zu schwach. Kurzsichtige Augen nehmen daher durch n Gebrauch gewöhnlicher Brillen allmählich den Fehler des Auswärts- hielens an: Diess zeigt sich namentlich stark in den ersten Momenten, chdem ein Kurzsichtiger die Brille abgelegt hat. Ein Fernsichtiger wöhnt sich durch eine gewöhnliche Konvexbrille daran, einwärts zu ıielen.

12. Konstruktion der Kombinations- oder exzentrischen Glä- r. Es handelt sich jetzt noch darum, das Verhältniss der Ver- ckung des orthoskopischen Brillenglases zu seiner Konvexität oder Kon- vität zu bestimmen. Ein solches Glas (Fig. 294) erscheint immer als die Kombination einer gewöhnlichen Sammel- oder Zerstreuungslinse *acd* mit einem Prisma *abc*. Ist f die Brennweite der Linse und a die Sehweite, auf welche die Brille gebraucht werden soll; so ist der Abstand x des virtuellen Bildes des Objektes a vom Glase durch die bekannte Formel

Fig. 294.

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{x} = \frac{1}{f}$$

ı bestimmen, worin f für die Sammellinse positiv, für die Zerstreuungs- ıse dagegen negativ ist.

Ein Prisma, dessen brechender Winkel $bac = \varphi$ klein ist, lenkt e Lichtstrahlen um die Bogengrösse

$$\alpha = (n - 1)\, \varphi$$

ab, worin n den Brechungskoeffizienten des Glases bezeichnet. In Winkelgraden hat man

$$\alpha = \frac{180\,(n - 1)\,\varphi}{\pi}$$

Bezeichnet man in Fig. 285 oder 286 den Winkel abh, um welchen der Strahlenkegel abgelenkt werden muss, mit β und den Abstand der Mittelpunkte beider Augen mit b; so findet man leicht, da hier ba nahezu $= ga = a$ und $bh = bd$ nahezu $= gh$ ist, solange es sich nur um kleine Winkel handelt,

$$\beta = \frac{b}{2}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{x}\right)$$

Für das orthoskopische Glas muss $\beta = \alpha$ sein; man hat also

$$\varphi = \frac{90\, b}{(n - 1)\, \pi f}$$

Hierdurch ist der gesuchte Brechungswinkel des Prismas bac in Graden gegeben.

Für die Fabrikation der Brillengläser wird es zweckmässig sein plankonvexe und plankonkave Gläser anzuwenden und folgendermaassen zu verfahren. Nachdem die Kugelfläche adc geschliffen ist, wird die gerade Facette ab näherungsweise und vorläufig etwas zu stark hergestellt. Hierauf werden beide Gläser zu einer Brille zusammengestellt und die Facette solange nachgearbeitet, bis die beiden Brennpunkte parallel einfallender Sonnenstrahlen sich in einem Punkte vereinigen.

Bei der Auswahl einer passenden Brille für ein gegebenes kurz- oder fernsichtiges Augenpaar, für welches die Konkavität oder Konvexität zu dem brechenden Winkel des Prismas in einem nach der Individualität sehr verschiedenem Verhältnisse stehen wird, kann der Optikus so verfahren, dass er erst durch gewöhnliche Konkav- oder Konvexgläser die Stärke der Brille feststellt und sodann durch Hinzufügung einer prismatischen Brille den geeigneten Ablenkungswinkel ermittelt.

Hierauf kann die Linse mit dem Prisma vereinigt gedacht und als einfaches Glas verabfolgt werden. Bei der Vereinigung einer Linse mit einem Prisma ist übrigens genau darauf zu achten, dass die Berührung zwischen der krummen Linsenfläche und der ebenen Seite des Prismas in der Mitte der Linsenwölbung stattfindet oder dass die Sehne der Linsenfläche der betreffenden Seitenlinie des Prismas parallel läuft. Sind nun Prisma und Linse getrennt und bildet die Linse ein plankonvexes

Fig. 295.



Fig. 296.



oder plankonkaves Glas; so vereinigen sich beide ganz ungezwungen nach Fig. 295 oder 296, indem das Stück ab das Brillenglas bildet (welches man übrigens auch durch Auflegung einer Linse auf die zweite Seite des Prismas zu einem bikonvexen oder bikonkaven Glase machen kann).

Statt mit einem Prisma und einer Linse kann man aber auch folgendermaassen operiren.

Es ist schon angeführt, dass ein prismatisches Linsenglas auch als ein exzentrischer Ausschnitt eines gewöhnlichen Linsenglases angesehen werden kann. Denn ist nach Fig. 297 und Fig. 298 r' der Radius der oberen und r'' der Radius der unteren Linsenfläche und φ der Brechungswinkel des mit diesen konvexen oder konkaven Linsen vereinigten Prismas; so

Fig. 298.

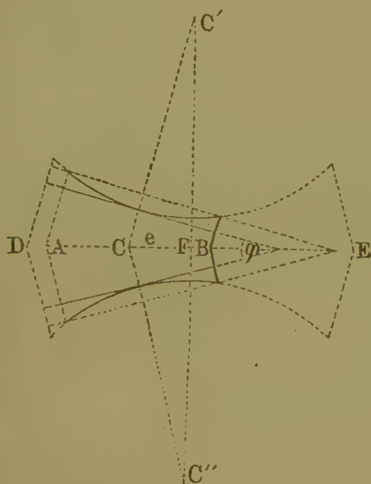
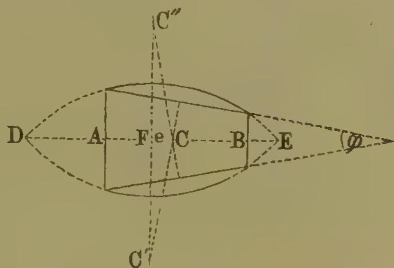


Fig. 297.



stellt das prismatische Linsenglas AB, dessen Mitte C ist, ein exzentrisches Stück der gewöhnlichen Linse DE, deren Mitte F ist, dar. Der Abstand $CF = e$ der Mitte des exzentrischen Glases von der Mitte des gewöhnlichen Glases findet sich bei schwachen Krümmungen, kleinen Winkeln und geringen Glasdicken zu

$$e = \frac{r' r''}{r' + r''} \varphi \text{ oder } = \frac{r' r''}{r' + r'} \sin \varphi$$

Wenn die untere Seite eben, also $r'' = \infty$ ist, hat man

$$e = r' \varphi \text{ oder } = r' \sin \varphi$$

Für das orthoskopische Glas, dessen sich auch normale Augen bedienen können, hat φ den obigen Werth.

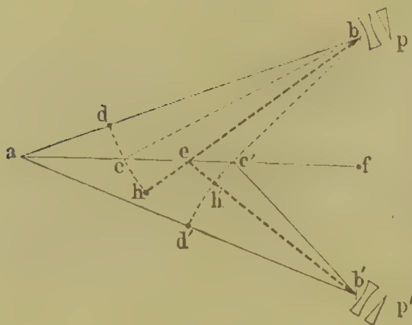
Aus Vorstehendem ergiebt sich, dass der Optikus auch folgendermaassen verfahren kann. Derselbe hält gewöhnliche Konvex- und Konkavlinsen von gewöhnlichen Krümmungen, aber möglichst grossen Öffnungen DE vorräthig und stellt zuerst die nöthige Stärke des Glases fest. Hierauf werden diese Linsen vor einen brillenähnlichen Rahmen von Blech gestellt, welcher die Stelle einer Blende vertritt und demzufolge zwei kreisförmige Sehöffnungen enthält, und so lange verschoben, bis der günstigste Effekt erreicht ist. Die Stärke der Gläser und die Verschiebung genügt, um danach die passende Brille zu wählen.

13. Brillen für zwei ungleiche Augen. Häufig ist an einem abnormen Augenpaare das eine Auge stärker kurz- oder fernsichtig als das

andere. Wenn man in diesem Falle, wie es gewöhnlich geschieht, beide Augen mit gleichen Gläsern versieht; so gewährt man entweder dem schwächeren Auge nicht die nöthige Hülfe oder man greift das stärkere Auge zu sehr an. Eine zweckmässige Brille kann also in diesem Falle nicht aus gleichen Gläsern bestehen. Man denke sich z. B. ein stark kurzsichtiges mit einem normalen Auge verbunden. Giebt man diesem Augenpaare eine gewöhnliche Brille, welche dem kurzsichtigen Auge zu der nöthigen Deutlichkeit verhilft, indem sie das optische Bild des Objektes näher heranrückt; so zwingt man beim Lesen oder Schreiben, überhaupt beim Sehen auf mittlere Sehweiten das normale Auge, sich stets auf Sehweiten zu akkommodiren, welche unter der mittleren liegen. Dass Diess im höchsten Grade schädlich ist und das bessere Auge immer mehr verdirbt, auch von unangenehmen Empfindungen begleitet ist, liegt auf der Hand. Die vorstehenden Betrachtungen liefern die Mittel zur Bestimmung einer passenden Brille für den so häufigen Fehler eines ungleichen Augenpaares. Das Verfahren ist folgendes.

Angenommen, das linke Auge b' sei stärker kürzsichtig als das rechte b (Fig. 299). Man ermittelt zunächst das für jedes einzelne Auge passende Konkavglas, welches für die verlangte Sehweite die nöthige Deutlichkeit erzeugt. Ist a das Objekt; so sei d die Lage des optischen Bildes von a, welche das Glas für das rechte Auge erzeugt, und d' die Lage des optischen Bildes von a, welche das Glas für das linke Auge erzeugt. Beschreibt man aus b mit bd und aus b' mit $b'd'$ Kreisbögen bis zu den Durchschnitten c und c' mit der Kopfaxe; so wäre bcf der passende Konvergenzwinkel für die Axe des rechten Auges und $b'c'f$ der für das linke Auge, welcher den Sehweiten bd und $b'd'$ entspricht.

Fig. 299.



Man darf nun den beiden Augenaxen nicht zwei verschiedene Konvergenzwinkel gegen die Kopfaxe geben: denn Diess würde die Empfindung nach sich ziehen, dass das Objekt nicht in der Kopfaxe, sondern seitwärts davon läge, womit nicht bloss ein schiefer, also hässlicher Blick, sondern auch eine abnorme Affektion der Augenmuskeln und des Akkommodationsapparates, mithin eine Störung des Sehprozesses und ein unangenehmes Gefühl verbunden wäre. Wir gehen also darauf aus, den Konvergenzpunkt e der beiden Augenaxen in der Kopfaxe af festzuhalten und bestimmen denselben durch die Bedingung, dass der Winkel bef das arithmetische Mittel zwischen den beiden Winkeln bcf und $b'c'f$ oder zwischen bcf und $bc'f$ sei. Die Konstruktion des Punktes e ist leicht: man braucht nur den Winkel cbc' zu halbiren; die Halbirungslinie be ist die gesuchte.

Um nun das Bild d des rechten Auges in die Linie be nach h und das Bild d' des linken Auges in die Linie $b'e$ nach h' zu verlegen, muss mit den beiden konkaven Gläsern b, b' eine prismatische Brille p, p'

kombinirt werden. Da die Ablenkungen aus den Richtungen ba und $b'a$ für beide Augen gleich sind, bedarf diese prismatische Brille nur zwei gleicher Gläser. Unter solchen Umständen ist es auch leicht, durch das Probiren verschieden starker prismatischer Brillen denjenigen Winkel der Prismen p, p' zu ermitteln, welcher dem Augenpaare in jedem speziellen Falle am besten konvenirt, also die Lage des Konvergenzpunktes e nach Konvenienz zu bestimmen.

Statt mit Linsen und Prismen zu operiren, kann man nach No. 12 auch durch Verschiebung grösserer Linsen vor einer Blende operiren, um die gleichbedeutenden exzentrischen Gläser zu ermitteln.

Es wird zur leichteren Orientirung nützlich sein, die Brillen für die verschiedenen Fälle nach ihren Haupteigenschaften zu spezifiziren. Es kommen folgende sieben Fälle in Betracht.

1. Das eine Auge ist kurzsichtig und das andere ist weniger kurzsichtig. Dieser soeben besprochene, in Fig. 299 dargestellte Fall erfordert zwei verschiedene prismatische Konkavgläser, an welchen jedoch nur die Konkavität verschieden ist, während die Prismen gleiche Winkel haben. Die dünnen Seiten der Gläser liegen nach innen.

2. Das eine Auge ist kurzsichtig und das andere ist normal. Nach Fig. 300 erfordert das kurzsichtige Auge ein prismatisches Konkavglas, das normale dagegen nur ein prismatisches Planglas, dessen Winkel

Fig. 300.

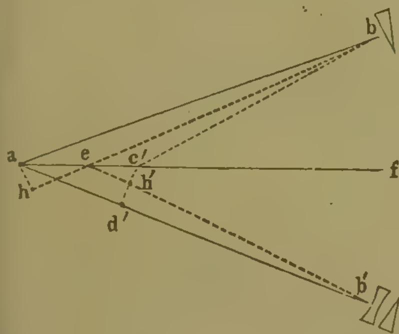
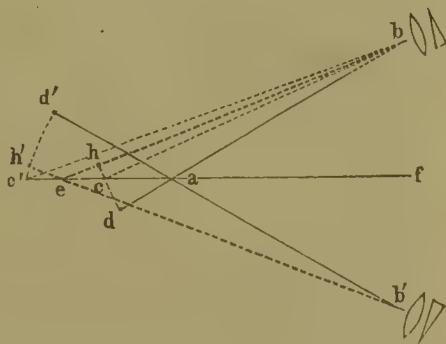


Fig. 301.



gleich dem des ersteren Glases ist. Die dünnen Seiten der Gläser liegen nach innen.

3. Das eine Auge ist fernsichtig und das andere ist weniger fernsichtig. Nach Fig. 301 erfordert jedes Auge ein prismatisches Konvexglas von verschiedener Konvexität, jedoch gleichem Prismenwinkel. Die dünnen Seiten der Gläser liegen nach aussen.

4. Das eine Auge ist fernsichtig und das andere ist normal. Alsdann erfordert nach Fig. 302 (a.f.S.) nur das fernsichtige Auge ein prismatisches Konvexglas, das normale Auge jedoch nur ein prismatisches Planglas. Die dünnen Seiten der Gläser liegen nach aussen.

5. Das eine Auge ist kurzsichtig, das andere dagegen fernsichtig und zwar waltet die Kurzsichtigkeit vor, sodass der Konvergenzpunkt c diessseit a fällt. Alsdann erfordert nach Fig. 303 das kurzsichtige Auge ein prismatisches Konkavglas mit einwärts liegender dünner Seite und das fernsichtige Auge ein prismatisches Konvexglas mit einwärts liegender dünner Seite.

6. Das eine Auge ist fernsichtig, das andere dagegen kurzsichtig, und zwar waltet die Fernsichtigkeit vor, sodass der Konvergenzpunkt c über a hinaus fällt. Nach Fig. 304 erfordert das fernsichtige Auge ein prismatisches Konvexglas mit auswärts liegender dünner Seite, das kurzsichtige Auge dagegen ein prismatisches Konkavglas gleichfalls mit auswärts liegender dünner Seite.

Fig. 302.

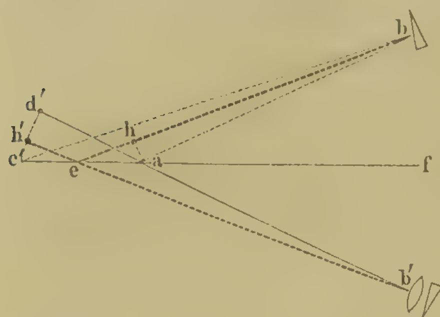


Fig. 303.

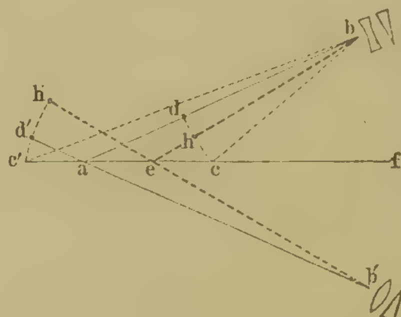


Fig. 304.

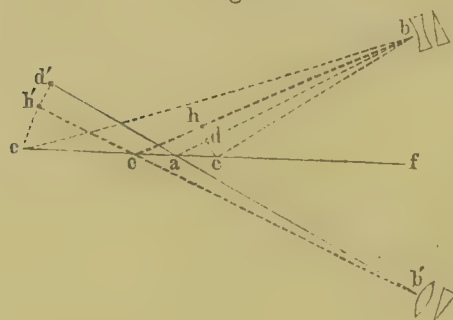
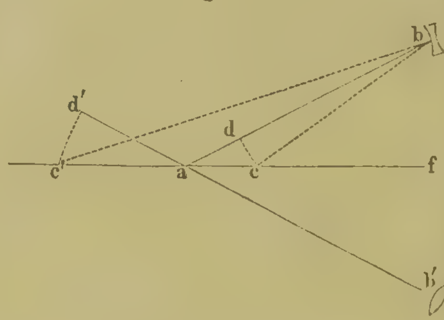


Fig. 305.



7. Das eine Auge ist in demselben Grade kurzsichtig, wie das andere fernsichtig ist, sodass der Konvergenzpunkt e in a liegen bleibt. In diesem Falle erfordert nach Fig. 305 das kurzsichtige Auge ein gewöhnliches Konkavglas und das fernsichtige ein gewöhnliches Konvexglas.

Aus Vorstehendem ergiebt sich, dass bei der Brillenfabrikation alle möglichen Kombinationen von Konkav- und Konvexgläsern mit Prismen ihre Rolle spielen. Es müssen Konkavgläser mit einwärts und mit auswärts liegender dünner Seite, ebenso Konvexgläser mit einwärts und auswärts liegender dünner Seite, einfache Prismen, welche bald nach innen, bald nach aussen zu kehren sind und einfache Konkav- und Konvexgläser vorhanden sein, um den verschiedenen Bedürfnissen auf rationelle Weise zu genügen.

14. Bestätigung des Prinzipes der Erkenntniss der Entfernung und Grösse durch die Erscheinungen der Kurz- und Fernsichtigkeit. Man hat noch nicht erfahren, dass wenn ein Mensch kurz- oder fernsichtig wird, sich damit seine Vorstellung von der Entfernung und Grösse der nämlichen Objekte änderte, wenigstens nicht in dem sehr

heblichen Maasse, welcher der Variation des Abstandes der Spitze s Strahlenkegels von der Netzhaut entspricht. Immer findet aber, wenn eser Augenfehler eintritt, ein Änderung der Akkommodationsthägkeit statt, welche häufig sehr gross sein muss.

Hierin finden wir eine lebhafte Bestätigung unserer Ansicht über die ıätigkeit, wodurch das Urtheil über die Entfernung und Grösse zu ande kömmt. Nach §. 16 beruht die Erkenntniss der Entfernung nicht auf r Akkommodationsthätigkeit, überhaupt auf keiner motorischen ıätigkeit, sondern auf einer sensuellen Thätigkeit der Fasern des hnerven. Diese Thätigkeit des Sehnerven wird nun, wenn Kurz- oder rnsichtigkeit eintritt, nicht geändert, insofern dieser Fehler in einer unrhältnissmässigen Steigerung oder Schwächung der Akkommodationsıätigkeit besteht, wie es nach No. 3 am wahrscheinlichsten ist. In diesem ılle ist der Vorgang folgender. Die Entfernung der Spitze des Strahlengels von dem Nullpunkte der Netzhaut ändert sich nicht durch die urz- oder Fernsichtigkeit; unsere Vorstellung von der Entfernung ler die scheinbare Entfernung bleibt also dieselbe; wegen der ränderten Reizbarkeit des Akkommodationsapparates nimmt aber die etzhaut eine unrichtige Stellung an, der Strahlenkegel konzentrirt sich cht auf ihr und das Objekt erscheint demzufolge undeutlich, aber eichwohl nahezu in richtiger Grösse und Entfernung, wie es ja ch in dem normal gebauten Auge bei unvollkommener Akkommodation r Fall ist.

Läge der Fehler der Kurz- und Fernsichtigkeit in einer unverhältnisässig langen oder kurzen Augenaxe; so würde eine Veränderung der nsuellen Empfindung der Sehnervenfaser eintreten, weil sich der Abstand r Spitze des Strahlenkegels vom Nullpunkte oder vom Stande der thätigen Netzhaut veränderte. Damit nun die Vorstellung von der Entrnung und Grösse dieselbe bliebe, müsste gleichzeitig der Querschnitt r elementaren Einheit der Nervenmasse sich in korrespondirender Weise it ändern (§. 16 No. 7). Eine solche übereinstimmende Änderung zweier igenschaften des Auges wäre zwar nicht unmöglich, erscheint aber viel ıwahrscheinlicher, als die vorhergehende Annahme. Demnach finden ir in dieser Betrachtung gleichzeitig eine Bestätigung für unser Prinip der Erkenntniss der Entfernung und Grösse und daneben r die Annahme, dass Kurz- und Fernsichtigkeit im Wesentlichen nicht uf Formfehlern des Auges, sondern auf einer fehlerhaften Thäigkeit des Akkommodationsapparates beruhe.

Im Übrigen ist klar, dass der Gebrauch der Brille beim kurz- oder rnsichtigen Auge ebenso wohl wie beim normalen mit einer Verändeung der scheinbaren Entfernung und Grösse verbunden sein muss, eil die Brille die Lage des Konvergenzpunktes des Strahlenkegels oder en Ort des Linsenbildes, also die Entfernung des scheinbaren Objekes verändert, was mit einer Veränderung der wirklichen Entfernung leichbedeutend ist.

§. 51.

Übersichtigkeit.

1. Erste Art von Übersichtigkeit. Unter Übersichtigkeit versteht man den seltenen Zustand, wo ein Auge nur fähig ist, sich auf eine bestimmte Sehweite und weder auf kleinere, noch auf grössere Entfernungen zu akkommodiren. Ein solches Auge ist also für die kleineren Entfernungen fernsichtig und für die grösseren kurzsichtig, und bedarf für die ersteren einer konvexen und für die letzteren einer konkaven Brille.

Im Grunde genommen, entspricht dieser Zustand jedem normalen Auge. Völlig scharf sieht jedes Auge nur in der mittleren Sehweite; für kleinere Entfernungen ist es fernsichtig und bedarf eines konvexen Glases; für grössere Entfernungen ist es kurzsichtig, die optischen Bilder fallen vor die Netzhaut und konkave Gläser verbessern die Schärfe des Anblickes.

Die Ursache dieser Erscheinung liegt, wie schon früher erörtert, darin, dass für die unter der mittleren Sehweite liegenden Entfernungen der Lichtreiz nicht stark genug ist, um die zur Konzentration der Strahlenbündel auf der Netzhaut erforderlichen bedeutenden Akkommodationsveränderungen auszuführen, und dass für die über der mittleren Sehweite liegenden Entfernungen der Lichtreiz für den geringen Widerstand, welchen die erschlaffenden Organe der Akkommodation darbieten, zu stark ist.

Die Sehweite, in welcher das übersichtige Auge deutlich sieht, ist seine mittlere Sehweite. Die Übersichtigkeit besteht also im Wesentlichen in einer ungewöhnlichen Vergrösserung der mittleren Sehweite, ohne dass diese Sehweite doch so sehr bedeutend würde, wie sie bei der Fernsichtigkeit ist. Ebenso gut könnte man sagen, ein übersichtiges Auge stelle ein kurzsichtiges mit ungewöhnlich verlängerter oder ein fernsichtiges mit ungewöhnlich verkürzter Weite des deutlichen Sehens dar: denn ein kurzsichtiges Auge ist im Wesentlichen ein normales Auge mit sehr kleiner und ein fernsichtiges Auge ist ein normales mit sehr grosser mittlerer Sehweite. Ausserdem muss man hervorheben, dass bei jedem abnormen Auge die Rapidität, womit die Akkommodation bei der Abweichung von der individuellen mittleren Sehweite sich verschlechtert, erheblicher ist, als bei einem normalen, d. h. dass das normale sich auf einen grösseren Tiefenumfang besser akkommodirt.

2. Zweite Art von Übersichtigkeit. Das kurz-, fern- und übersichtige Auge funktionirt nach Vorstehendem in den Hauptsachen wie ein normales Auge. Alle diese Augen unterscheiden sich nur durch die absolute Länge der mittleren Sehweite und durch den Grad der Verschlechterung der Akkommodation bei der Abweichung von der individuellen mittleren Sehweite.

Allgemein fällt das Lichtbild eines Objektes, welches unter der ıdividuellen mittleren Sehweite liegt, hinter die Netzhaut, nähert sich ei zunehmender Entfernung der Netzhaut, erreicht dieselbe in der Entrnung der mittleren Sehweite, fällt alsdann für grössere Entfernungen or die Netzhaut und rückt nun bei zunehmender Entfernung immer eiter gegen das Zentrum des Auges vor. Das letztere Vorrücken bei ınehmender Entfernung ist, wie in vorstehender Nummer wiederholt wähnt ist, das Resultat des Umstandes, dass für die erschlaffenden Organe der Reiz des Strahlenbündels zu stark ist, sodass dieselben eine kräfgere Akkommodationsthätigkeit entwickeln, als der scharfen Konzentraon des Strahlenbündels auf der Netzhaut entspricht. Offenbar ist der rad dieser Überreizung des erschlaffenden Auges individuell sehr erschieden, und es ist ein Organismus denkbar, wo diese Überreizung berhaupt nicht stattfindet, wo also der Akkommodationsapparat des uges einen unter dem normalen liegenden Grad von Reizbarkeit besitzt. Diese relative Unempfindlichkeit kann so bedeutend in, dass bei grossen Entfernungen die Organe mehr und mehr dem Zuande der Erschlaffung entgegengehen, welcher der völligen Abwesenheit des Lichtreizes oder der vollständigen Dunkelheit entspricht. ı einem solchen Auge wird das Lichtbild bei genügender Entfernung des bjektes wieder hinter die Netzhaut fallen.

Bei einem Auge dieser Art geht also das Lichtbild bei der Zunahme er von null anfangenden Entfernung des Objektes zweimal durch die etzhaut. Einmal bei der individuellen mittleren Sehweite und einmal ei einer gewissen Entfernung, welche wir die obere Weite des deutchen Sehens nennen wollen.

Diese Abnormität würde sich dadurch charakterisiren, dass es zwei ntfernungen, die untere und obere Weite des deutlichen Sehens ebt, in welchen das Auge deutlich sieht. Unterhalb der ersteren ntfernung und oberhalb der zweiten ist das Auge fernsichtig und edarf einer konvexen Brille; zwischen beiden Entfernungen ist es urzsichtig und bedarf einer konkaven Brille.

Jenachdem aber die Abweichungen des Lichtbildes von der Netzhaut . diesen drei Strecken und die absoluten Längen dieser Strecken gross ler klein sind, kann diese Abnormität sich durch besondere Spezialitäten ıszeichnen. Die untere Strecke wird meistens klein sein und sich so verılten, wie bei einem normalen Auge die Strecke bis zur mittleren Seheite. Da man das Verhalten des Auges gegen Objekte, welche unter der ittleren Sehweite liegen, bei normalen Augen nicht mit dem Namen eines ehlers belegt und das unvollkommene Sehen in diesem Bereiche für was Natürliches hält; so kann man auch bei dem weitsichtigen Auge er letzteren Art das Verhalten des Auges für die erste Strecke als eine ewöhnliche Thätigkeit ansehen und unter dem Vorbehalte dieser Unollkommenheit des Sehens sagen, das Auge habe die Fähigkeit deutch zu sehen auf der ersten Strecke.

Was die dritte Strecke betrifft; so sind die Verrückungen des Konergenzpunktes des Strahlenkegels schon von mässigen Entfernungen bis u den grössten Weiten hin nur gering. Giebt es also, wie hier angenomıen ist, überhaupt eine mässige Entfernung (dem Anfange der dritten

Strecke entsprechend), für welche genaues Sehen stattfindet; so wird für alle grösseren Entfernungen die Unvollkommenheit des Sehens häufig wenigstens keinen erheblichen Grad erreichen und ungefähr der Ungenauigkeit des Sehens eines normalen Auges für grosse Entfernungen zu vergleichen sein.

Hieraus ersieht man, dass die zweite Art der Übersichtigkeit unter Umständen sich dadurch kennzeichnen kann, dass das Auge auf nahe und entfernte Entfernungen deutlich sieht, während es eine mittlere Strecke giebt, für welche nur ein undeutliches Sehen stattfindet. Das Auge wird dann für diese Mittelstrecke kurzsichtig sein und einer konkaven Brille bedürfen.

§. 52.

Bewaffnung des Auges.

1. Mikroskop und Teleskop. Durch die Brille werden die von dem Objekte *a* ausgehenden Strahlen so abgelenkt, dass sie beim Eintritte in das Auge wie von einem ganz anderen scheinbaren Objekte *b*, welches auch das Bild von *a* heisst und dem Objekte geometrisch ähnlich ist, herzukommen scheinen. Es wird also dem Auge statt des wirklichen Objektes *a* ein ihm ähnliches Bild zur Beschauung dargeboten. Ebendasselbe geschieht auch bei der Bewaffnung des Auges durch andere optische Instrumente. Wenngleich das Mittel in beiden Fällen sich gleich bleibt; so ist doch der Zweck ein anderer. Bei der Brille liegt nur die Absicht vor, von dem Objekte ein scharfes Lichtbild *c* auf die Netzhaut zu bringen, ohne dieses Objekt grösser oder deutlicher erscheinen zu lassen, als es einem normalen Auge sich darbietet. Die Bewaffnung des Auges dagegen hat den Zweck, den optischen Effekt zu erhöhen, das Objekt wirksamer zu machen, dasselbe deutlicher erscheinen zu lassen.

Die Deutlichkeit vermindert sich hauptsächlich durch zwei Ursachen: durch Verkleinerung und durch Entfernung. Um sehr kleine Objekte deutlicher zu sehen, wird das Mikroskop, um entfernte Objekte deutlicher zu sehen, das Teleskop (Fernrohr, Perspektiv) angewandt. Das Mikroskop setzt an die Stelle des Objektes ein Bild, welches grösser ist, als das Objekt. Dieses Bild kann je nach der Konstruktion des Insrumentes näher oder entfernter liegen als das wahre Objekt: im letzteren Falle überwiegt aber die Vergrösserung die Entfernung. Das Mikroskop ist also in seiner Hauptwirkung ein Vergrösserungsglas, daneben aber bald ein Annäherungs-, bald ein Entfernungsglas. Das Teleskop erzeugt statt des Objektes ein Bild, welches näher liegt, als das Objekt. Dieses Bild kann je nach der Konstruktion des Instrumentes grösser oder kleiner sein als das wahre Objekt: im letzteren Falle überwiegt aber die Annäherung die Verkleinerung. Das Teleskop ist also nach seiner Hauptwirkung ein Näherungsglas, daneben aber bald ein Vergrösserungs-, bald ein Verkleinerungsglas. Mikroskop und Te-

›p haben in ihrer Wirkung Das gemein, dass der Sehwinkel des ·ktes, welcher bei der Brille unverändert bleibt, vergrössert wird, in dieser Vergrösserung besteht die Stärke des Instrumentes.

2. Effekt eines optischen Systems. — Vergleichung zwischen roskop, Teleskop, Lupe und Brille. Erhebliche Wirkungen dieser werden durch Kombinationen von Glaslinsen von verschiedener nmung, Stellung und Glassorte (Refraktoren), sowie durch Hohlspie- (Reflektoren) hervorgebracht. Das Grundprinzip ist von der beson- n Konstruktion des Apparates ganz unabhängig und kann an jeder achen Linse erläutert werden.

Eine einfache Sammellinse, also auch eine gewöhnliche Lupe ist leicher Zeit ein Mikroskop und ein Teleskop.

Die Figuren 306 bis 310 stellen die verschiedenen Verhältnisse dar, r welchen eine Lupe gebraucht werden kann. f und g sind die beiden

Fig. 306.



Fig. 307.



Fig. 308.



Fig. 309.



Fig. 310.



npunkte für parallele Strahlen, a ist das links von der Lupe liegende kt, b das Bild desselben, also dasjenige Objekt, von welchem die h die Lupe gegangenen Strahlen dem rechts befindlichen Auge herzu- nmen scheinen.

Wenn das Objekt a jenseit des Brennpunktes f liegt, bildet sich das b auf der rechten Seite der Linse ebenfalls jenseit des Brennpunktes ıd zwar in verkehrter Lage. Für sehr entfernte Objekte (Fig. 306) das Bild b nahezu in den Brennpunkt g und ist verkleinert. Das nbare Objekt ist also dem Auge näher gerückt: die Lupe wirkt sehr entfernte Objekte als Teleskop.

Je mehr sich das Objekt dem Brennpunkte f nähert, desto mehr en fernt sich das Bild b von der Lupe nach rechts, indem es sich vergrösser In der Lage der Fig. 307 ist das Bild b ebenso gross wie das Objekt Damit das Auge dieses Bild ansehen kann, muss es sich von der Lu angemessen entfernen.

Mit zunehmender Annäherung des Objektes an den Brennpunkt (Fig. 308) wächst der Abstand des Bildes b von der Lupe über jed Maass hinaus, indem dasselbe sich immer mehr vergrössert. Endlich kan das Auge dem immer weiter nach rechts vordringenden Bilde b natürlic nicht mehr folgen; das Bild fällt also schliesslich über das Auge hinau Auf Objekte, welche links vom Brennpunkte f demselben nahe liegen, kan also die Lupe überall nicht gebraucht werden. Solchen Objekten kan man aber die Lupe so weit nähern, dass sie auf die rechte Seite des Bren punktes f fallen. Alsdann tritt folgendes Verhältniss ein.

Jedem Objekte, welches rechts vom Brennpunkte f liegt, entspric ein *aufrechtes* Bild b links von diesem Brennpunkte. Dieses Bild i ein *virtuelles* (Fig. 309 und 310). Dasselbe ist stets *vergrössert* u von der Lupe weiter entfernt als das Objekt selbst. Dasselbe rückt ab dem Brennpunkte f umso näher, je näher das Objekt der Lupe kömm Für alle innerhalb der Brennweite, also *sehr nahe* liegenden Objek wirkt daher die Lupe als *Mikroskop*.

Wie man jeden Gegenstand aus verschiedenen Entfernungen betrac ten kann; so kann man offenbar auch das von der Lupe entworfene Bil nach Belieben aus der Nähe oder Ferne ansehen, also das Auge der Lup mehr oder weniger nähern. Am *deutlichsten* wird die Erscheinun aber immer, wenn die Entfernung des Auges vom *Bilde* b die mittle Sehweite von 8 bis 10 Zoll beträgt. Die *Vergrösserung* der Lup wenn sie als Mikroskop gebraucht wird, ist am grössten, wenn sich da Objekt dem Brennpunkte f *so nahe als möglich* befindet. Da jedoc für die ganz nahe am Brennpunkte liegenden Objekte das Bild b nac Fig. 309 sich so weit entfernt, dass dasselbe nicht mehr von dem vor de Lupe befindlichen Auge deutlich gesehen werden kann; so giebt es ein bestimmte Entfernung des Objektes von der Linse, bei welcher der optisc Effekt in Beziehung auf *Vergrösserung und Deutlichkeit* sei Maximum erreicht. Diess ist diejenige Entfernung, bei welcher da *Bild* b 8 bis 10 Zoll von dem nahe vor der Linse liegenden Punkt bis zu welchem sich das Auge dem Glase zu nähern vermag, entfernt fäll Um diesen höchsten Effekt zu erhalten, muss man also die Lupe so dich *als möglich an das Auge* legen und das Objekt in diejenige Entfer nung bringen, in welcher es am *deutlichsten* erscheint.

Bei dem letzteren Gebrauche, nämlich wenn man die Lupe dicht vo das Auge hält, ist sie zugleich *Brille*. Eine *starke* Lupe ist jedoch i dieser Weise nur auf *ganz nahe* Objekte zu gebrauchen, weil sie für entferntere eine zu erhebliche Verkürzung des Auges erfordern würde.

3. Stereoskopischer Effekt eines Linsensystems. Ich mach noch darauf aufmerksam, dass wenn durch irgend ein Linsensystem ei Objekt uns *näher oder entfernter* erscheint, wir doch keinesweg von seiner körperlichen *Oberfläche mehr oder weniger* erblicken

was in dem Strahlenkegel des unbewaffneten Auges liegt. In dieser sicht, nämlich hinsichtlich des stereoskopischen Eindruckes Objektes, entspricht also die scheinbare Ortsveränderung nicht r wirklichen. Dieselbe stellt vielmehr nicht eine Ortsveränderung ganzen Objektes, sondern nur eine Ortsveränderung des dem blos- Auge sichtbaren Theiles des Objektes dar.

4. **Akkommodationsgrösse des bewaffneten Auges.** Beim Te- cope, Fernrohre, Theaterperspektive und bei der auf entfernte Objekte rauchten Lupe ist das scheinbare Objekt dem Auge näher gerückt. Auge befindet sich also in einem Zustande der Akkommodation kürzere Entfernung. Dieser Zustand findet bei genauer nstellung des Teleskopes statt, also wenn man das Objekt deut- sieht.

Wenn man das Linsensystem verschiebt, ändern sich die Verhält- se je nach der Konstruktion des Apparates. Zieht man das gewöhn- e Fernrohr oder Theaterperspektiv aus; so entfernt man das schein- e Objekt vom Auge, und es genügt ein geringes Ausziehen, um die tfernung des Objektes weit über die Grenze des deutlichen Sehens zu gern. Das Auge ist alsdann wie auf ein sehr entferntes Objekt, absolut rachtet, sehr weit, in Beziehung auf das scheinbare Objekt aber zu he akkommodirt. Schiebt man dagegen das Fernrohr ein; so nä- rt sich das scheinbare Objekt dem Auge bald tief unter die Grenze des tlichen Sehens. Das Auge ist dann, absolut genommen, sehr nahe, in gleitung auf das scheinbare Objekt aber zu weit akkommodirt.

Beim Mikroskope und bei der auf nahe Objekte gebrauchten Lupe das scheinbare Objekt vergrössert und liegt je nach der Konstruktion Instrumentes bald dem Auge näher, bald davon entfernter als das wahre jekt. Zieht man das Mikroskop aus, ohne dass das durch das Okular rachtete Bild die Brennweite des Okulars überschreitet; so entfernt sich s scheinbare Objekt bald so erheblich, dass das Auge, absolut genommen, r weit, in Beziehung zu diesem Objekte aber zu nahe akkommodirt Schiebt man das Mikroskop ein; so rückt das scheinbare Objekt ier und kömmt dem Auge bald so nahe, dass das Auge (wenn man sselbe unverrückt dicht vor dem Okulare hält), absolut genommen, sehr he, in Beziehung auf das scheinbare Objekt aber zu weit akkommo- t ist.

Das Ausziehen und das Einschieben bewirkt also beim Teleskope wie m Mikroskope die nämliche Akkommodationsveränderung im ige.

5. **Binokulares Mikroskop und Teleskop.** Bei der Anwendung n Mikroskopen, Fernröhren und Lupen wird nur ein Auge in Thätig- it gesetzt. Diess ist aus mehreren Gründen sehr ungünstig. Beim Ge- auche nur eines Auges ist der Akkommodationszustand niemals voll- ommen; die Konvergenz der beiden Augenaxen ist nicht die rich- ge, der Lichteindruck des Objektes ist theils schwächer, weil er nur n Auge affizirt; er ist auch unsicherer und ungenauer, weil er cht die korrespondirenden Netzhautstellen beider Augen in Anspruch

nimmt, und er ist in stereoskopischer Hinsicht unvollkommener, w
er bei verschieden entfernten Punkten nicht die heterogenen Netzha
stellen affizirt (§. 13 und 16); endlich ist die unsymmetrische und ung
hörige Beanspruchung des Sehapparates eine für den Organismus unang
nehme Thätigkeit.

Hiernach wird die Beobachtung mit einem Auge unsicher und ausse
dem wird sie auf die Dauer schmerzhaft und nachtheilig sein. D
Unvollkommenheit des Gesichtseindruckes wird in manchen Fällen, b
mikroskopischen Untersuchungen so gut wie bei teleskopisch
Beobachtungen, z. B. bei der Betrachtung der Mondoberfläche, gew
sehr unerwünscht sein, und es fragt sich daher, ob es nicht im Interes
der Wissenschaft liege, diesen Nachtheil, selbst mit Kosten, wenigste
für besondere Fälle zu beseitigen.

Zunächst würde hierzu eine Verdopplung des Apparates geh
ren. Für teleskopische Zwecke würde mit dieser Verdopplung all
Nöthige geschehen sein; für mikroskopische Zwecke jedoch nich
Das Doppelmikroskop oder die Doppellupe müsste nothwendig no
mit einer prismatischen Brille verbunden werden. Wollte man je
Hälfte dieses Instrumentes zu Zeiten selbstständig für ein Auge g
brauchen; so müsste das prismatische Glas trennbar sein; man brauch
alsdann beim Gebrauche des Doppelinstrumentes nur eine prismatisc
Brille von geeigneter Ablenkung aufzusetzen. Für einen dauernde
Gebrauch könnte das Okularglas des Mikroskopes eine exzentrisch
Linse sein.

Eine Doppellupe wäre hiernach nichts Anderes als eine stark
orthoskopische Konvexbrille, mit welcher sich sicherlich viel bess
beobachten liesse, als mit einer einfachen Lupe. In der That kann das Seh
durch eine solche Lupe die Augen nicht mehr angreifen, als das Sehen auf d
mittlere Sehweite beim Lesen und Schreiben im unbewaffneten Zustand
Hierzu kömmt noch die Bequemlichkeit, dass man eine in Form einer Brill
hergestellte Doppellupe auf die Nase setzen kann, also nicht mit der Han
zu halten braucht. Ein solches Instrument würde daher aus zwei
fachem Grunde allen Denen gute Dienste leisten, welche wi
Kupferstecher und Holzschneider sich bei ihren Arbeite
dauernd der Lupe bedienen müssen und bekanntlich häufi
an den Augen leiden.

Macht man die Gläser einer solchen Doppellupe um ihre Axe in de
Fassung oder auch um eine vertikale Axe drehbar; so wird die Doppel
lupe, indem man die dicken Ränder der Gläser nach aussen dreht, sofo
zu einer stereoskopischen Brille, mittelst welcher man die ste
reoskopischen Doppelbilder wie durch das Stereoskop be
trachten kann.

Wenn ab, $a'b'$ die beiden Gläser einer orthoskopischen Doppellup
sind (Fig. 311); so könnten dieselben durch Fortsetzung ihrer Oberfläche
in ein einziges Glas verwandelt werden, welches die Form $bb'f$ habe
würde. Im Allgemeinen könnte die vordere oder die hintere Fläche bfb
keine demselben Kegel angehörige Fläche sein, sondern würde in de
Mitte f einen Grat erhalten. Ein solches Glas würde schwierig zu schlei

…en sein. Stellt man, um die Schwierigkeit der Anfertigung zu vermeiden, …ie Fläche beb' als einfache Kugelfläche mit dem den Flächen bc, $b'c'$ der einzelnen Gläser angehörigem Radius dar; so hat die einfache Binokularlupe $bb'e$ zwar dieselbe Vergrösserungskraft, wie die Doppellupe, aber nicht den richtigen Prismenwinkel an den Enden b und b', durch welche die Augen blicken. Ein solches einfaches Glas zum gleichzeitigen Gebrauche für beide Augen ist daher nicht so gut wie eine orthoskopische Doppellupe, aber immer besser, als eine gewöhnliche Lupe für ein Auge oder eine aus zwei gewöhnlichen Lupengläsern zusammengesetzte Doppellupe.

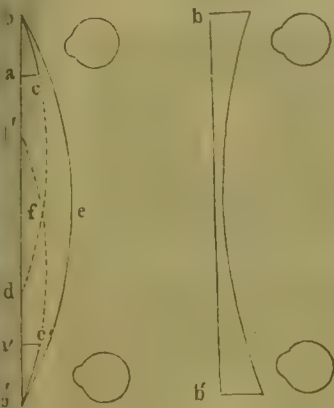


Fig. 311. Fig. 312.

Endlich leuchtet ein, dass man sich auch eines für den Gebrauch beider Augen eingerichteten Hohlglases bb' (Fig. 312) …edienen kann, um stereoskopische Doppelbilder zu betrachten, …ass jedoch auch hier der Effekt nicht so vollkommen sein wird, wie bei …er Anwendung getrennter stereoskopischer Gläser.

§. 53.

Strahlenphänomene.

Ein besonderes Interesse nehmen die Strahlenphänomene sowohl …ls optische Erscheinungen, wie auch in Bezug auf die Gesetze des Auges …n Anspruch. Ich werde dieselben zunächst in der Weise beschreiben, wie …ie vor meinen Augen auftreten.

1. **Lichtschein.** Betrachtet man eine Kerzen- oder Gasflamme …Fig. 313 oder 321 aus der Nähe des deutlichen Sehens; so erscheint …dieselbe in ihrer richtigen Gestalt mit hinreichend scharfen Umrissen.

Entfernt man sich nun von der Flamme; so tritt allmählich zu beiden …Seiten ein Lichtschein aus derselben heraus, welcher so ziemlich die …ganze Höhe der Flamme einnimmt. Dieser Schein ist scharf begrenzt und …seine äusseren Seitenlinien laufen mit den Seitenlinien der Flamme nahezu …parallel (Fig. 314 und 322). Dieser Lichtschein steht zu der Flamme in …einem Verhältnisse wie ein Halbschatten zu dem Kernschatten.

Bei einer Gasflamme von 3 Zoll Höhe ist dieser Lichtschein etwa in …einer Entfernung von 30 Fuss oder von dem 120-fachen des Durchmessers …der Flamme, also bei einem Sehwinkel von circa 29′ am vollkommensten …entwickelt.

2. **Lichtflimmer.** Ausserdem bildet sich rings um die Flamme …herum ein anfangs sehr schwacher Lichtflimmer oder Lichthof, wel-


Fig. 313.


Fig. 321.


Fig. 314.


Fig. 322.


Fig. 315.


Fig. 323.


Fig. 316.

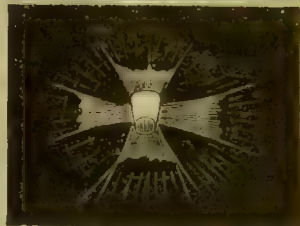

Fig. 324.


Fig. 317.


Fig. 318.


Fig. 319.


Fig. 320.

ıer aus äusserst feinen und dicht gedrängten radialen Strahlen besteht. iese Strahlen irisiren und der hierdurch bedingte Farbenwechsel ereilt dem radialen Strahlenflimmer zugleich das Ansehen eines konntrischen, wellenförmigen, in der Hauptrichtung kreisförmigen Lichtänomens. In den irisirenden Strahlen herrscht eine unruhige und unite Bewegung, bald radial nach aussen, bald nach innen.

Etwa in 200-facher Entfernung oder bei einem Sehwinkel von circa ′ ist das Irisiren des Lichthofes am stärksten, und etwa in 500-facher ıtfernung oder bei einem Sehwinkel von circa 7′ hat der Lichthof lbst seine grösste Ausdehnung. Übrigens variiren diese Entfernungen ch der Beschaffenheit der Atmosphäre, der Dunkelheit und der Emndlichkeit des Auges.

3. **Lichtspitzen.** Entfernt man sich weiter; so bildet sich der ter No. 1 erwähnte seitliche Lichtschein weiter nach der Seite hin s. Ausserdem dringen an seinen obersten und untersten Punkten an der Seite zwei Lichtspitzen hervor (Fig. 314, 322).

Der unter No. 2 beschriebene Lichthof wird inzwischen kräftiger d es treten in demselben einige Radien stärker hervor. Die Zahl der tzteren beträgt elf. Vier entspringen aus den eben bezeichneten Lichttzen, je zwei beiderseits aus dem seitlichen Lichtscheine, je einer beiseits aus dem unteren Theile dieses Lichtscheines ganz in der Nähe unteren Spitzen und der elfte oben aus der Mitte der Flamme.

4. **Kreuzform.** Bei weiterer Entfernung, nämlich für eine 3 Zoll ıe Gasflamme bei einer Entfernung von 100 Fuss oder von dem 400hen des Durchmessers der Flamme, also bei einem Gesichtswinkel von 37″ nimmt der Lichtschein die Kreuzform an (Fig. 315, 323), indem ı jede Seite zu einem langgestreckten, am Ende eingeschnittenen Flügel dehnt und die oberen und unteren Spitzen zu ähnlichen Flügeln heranchsen. Der unter No. 2 erwähnte Lichthof verliert sich allmählich. ch die früher stark hervortretenden Radien verschwinden mehr und hr, indem sich in den Richtungen derselben Spitzen des Lichtschei3 ausbilden.

Der eigentliche Kern der Flamme ist allmählich in Folge der zunehnden Entfernung immer kleiner und unscheinbarer geworden; der Lichtein wächst aber trotz der Entfernung zusehends.

5. **Strahlenstern.** In genügender Entfernung verwandelt sich der htschein in einen Strahlenstern (Fig. 317). Dieser Stern besteht aus fünf men. Hiervon läuft der oberste in drei und jeder andere in zwei Spitzen , sodass der Stern überhaupt elf Spitzen hat. Man kann diesen Stern h als eine Figur aus vier zweispitzig endigenden Armen mit einer izackigen Krone ansehen.

Die Grösse und besondere Gestalt des Flammenkerns ist nicht mehr erkennen.

6. **Entfernung für die Sternbildung.** Die Entfernung, in cher sich dieser Stern vollkommen entwickelt, hängt von drei Bedin-

gungen ab. Erstens muss der Sehwinkel unter eine gewisse Grösse herabgesunken sein; eine grosse Flamme erfordert also eine grössere Entfernung als eine kleine. Zweitens muss zwischen der Intensität der Flamme und der Helligkeit des Hintergrundes ein gewisses Verhältniss überschritten sein; je leuchtender die Flamme und je dunkler der Hintergrund, desto eher, namentlich aber desto vollkommener tritt die Erscheinung auf. Drittens muss der Raum um das Auge eine gewisse Dunkelheit haben, sodass also das Auge nicht zu viel Lichtreiz empfängt, von woher es auch sei. Im Allgemeinen sind also die letzten beiden Bedingungen bei gewöhnlichen Flammen umso besser erfüllt, je dunkler der Abend und je dunkler der Ort ist, wo sich der Beobachter befindet. Im Übrigen kann man die Erscheinung auch bei Tage und durch das Sonnenlicht haben, wenn man sich in einem schattigen Zimmer oder Raum befindet, vor welchem das Tageslicht des Himmels durch die Lücken zwischen den Blättern der Bäume bricht oder wenn man sich in einem ziemlich dunklen Zimmer befindet, welches feine Öffnungen besitzt, durch welche Licht von aussen dringt.

Das Phänomen hört sowohl dann auf, wenn die nächste Umgebung der Flamme zu sehr erhellt wird, als auch dann, wenn das Auge von einem anderen leuchtenden Objekte zuviel Licht empfängt.

So werden z. B. die Sterne, in welchen man in den mit Gasflammen erleuchteten Strassen die entfernteren Flammen strahlen sieht, kleiner und undeutlicher, wenn man sich unmittelbar vor eine Laterne stellt und den Kopf so hält, dass diese Laterne ihr Licht direkt in das Auge sendet. Ebenso verschwinden in einem schattigen Zimmer diejenigen Sterne in den Laubkronen der Bäume, welche man aus dem Hintergrunde des Zimmers erblickt, sobald man an das Fenster herantritt. Hält man ein Kerzenlicht dicht neben das Auge, so kann man damit jedes von einem leuchtenden Punkte (auch von einem Himmelsgestirne) erzeugte Strahlenphänomen vernichten.

Ebenso nimmt der Strahlenstern einer bei Abend in freier Luft hängenden Flamme ab, sobald dicht hinter dieselbe eine weisse Fläche gehalten wird, welche durch die Flamme erleuchtet wird, sodass die Dunkelheit des Hintergrundes, auf welchem das Netzhautbild der Flamme ruht, vermindert wird.

Unter den günstigsten Verhältnissen, also namentlich bei möglichster Dunkelheit, ist für eine 3 Zoll hohe Gasflamme eine Entfernung von 500 Fuss, also wenigstens von dem 2000-fachen des Durchmessers oder ein Sehwinkel von höchstens 1′ 43″ erforderlich, um den Stern (Fig. 317) vollkommen zur Erscheinung zu bringen.

7. Sternfigur bei zunehmender Entfernung. Vergrössert man die Entfernung von der Flamme noch mehr, und zwar bei einer 3 Zoll hohen Gasflamme etwa auf 1000 Fuss oder das 4000-fache des Durchmessers der Flamme oder auf einen Sehwinkel von 50″; so geht der Strahlenstern in die Form (Fig. 318) über. Die Arme werden zu Linien von fast gleichförmiger Stärke mit gabelförmigen Ansätzen. In der dreizackigen Krone bilden sich besonders die beiden Seitenspitzen der Länge nach aus und stellen sich steiler, die mittlere Spitze verkürzt sich und verdickt sich dabei, tritt aber wegen

der abnehmenden Länge immer mehr zurück, indem sie sich in einen leuchtenden Kern verwandelt. Die übrigen vier Arme werden zu Radien mit je einer Gabel. Die unteren beiden Radien verlängern sich am meisten, schieben ihre Gabel am weitesten vor und der Winkel in einer solchen Gabel erweitert sich am meisten. Die beiden horizontalen Radien werden nicht ganz so lang, sie schieben ihre Gabel weniger weit vor, der Winkel in einer solchen Gabel wird kleiner, jeder Gabelzweig aber wird länger als an den unteren Radien und der unterste Zweig an jeder dieser beiden Gabeln wird fast horizontal.

8. Figur der Gestirne. Bei noch grösserer Entfernung prägt sich die Figur 318 immer bestimmter zu einem achtarmigen Strahlensterne (Fig. 319) aus, wovon die unteren beiden Arme die Gabeln behalten, während die ziemlich horizontal sich ausstreckenden Seitenarme die Zweige der früheren Gabeln sind, welche ihren Stiel ganz eingezogen haben. In der Krone bewahrt der frühere Mittelstrahl die Natur eines nach oben sich zuspitzenden leuchtenden Kernes. Die Grösse dieser Figur nimmt mit zunehmender Entfernung immer mehr ab.

In der Gestalt (Fig. 319) erscheinen uns die Gestirne des nächtlichen Himmels. Bei den schwächer leuchtenden erkennt man nicht die Gabeln der unteren Arme und die Seitenarme, sowie die oberen Arme, welche ziemlich kleine Winkel einschliessen, werden leicht für einfache Arme gehalten, sodass der Stern nach Fig. 320 fünfstrahlig erscheint.

Wir bemerken hierbei, dass der grösste scheinbare Durchmesser aller Planeten kleiner ist als das unter No. 7 bezeichnete Maass von 50″, indem sich nur die Venus in ganz seltenen Fällen auf 64″ erhebt.

9. Strahlenfigur beim Blicke durch ein feines Loch. Wenn man ein mit einem Nadelstiche durchbohrtes Kartenblatt gegen den hellen Himmel hält; so erscheint das Loch in der Entfernung des deutlichen Sehens als heller Punkt mit scharfer Begrenzung. Sobald man das Auge näher akkommodirt, verwandelt sich dieser Punkt in einen Strahlenstern nach Fig. 325. Dieser Stern hat in der Mitte keinen der Grösse des Loches entsprechenden Kern, überhaupt keinen Kern, sondern neun Strahlen, von welchen die beiden unteren gegabelt sind. Die oberen drei Strahlen, welche ziemlich gleiche Länge zeigen, entsprechen der dreispitzigen Krone des Sternes Fig. 318. Die beiden unteren Strahlen stimmen mit den beiden unteren Strahlen der letzteren Figur überein und die horizontalen Strahlen erscheinen als die vollständigen Gabeln der Seitenstrahlen der Sterne in Fig. 318 und 319.

Fig. 325.



Wenn man, durch das Loch hindurch blickend, das Auge weiter akkommodirt; so verwandelt sich der helle Punkt in eine Kreisfläche (S. 31 No. 15), in welcher ein Stern von leuchtenden Radien nach Fig. 326 hervortritt. Dieser Stern hat im Mittelpunkte ebenfalls keinen Kern. Derselbe zählt auch neun Strahlen, welche am Umfange des Kreises am dicksten sind und sich nach dem Mittelpunkte hin radial verdünnen. Von diesen neun Strahlen liegen drei nach unten, zwei nach oben und je zwei nach rechts und links.

Fig. 326.



Die vor dem zu weit akkommodirten Auge entstehende Figur 326 entspricht also der diametral umgekehrten Figur des vor dem zu nahe akkommodirten Auge erscheinenden Sternes 325.

Dass sich diese umgekehrte Figur nicht so vollkommen ausbildet, wie der bei zu naher Akkommodation entstehende Stern, leuchtet ein, da jetzt das Objekt dem Auge so nahe gebracht werden muss, dass dasselbe eine grosse Zerstreuung bewirkt.

10. Einfluss der Akkommodation. Wenn man das Auge beim Anblicke eines Sternes auf eine nähere Entfernung zu akkommodiren sucht, was mit grosser Leichtigkeit zu bewerkstelligen ist; so verwandelt sich der Stern, welcher in Fig. 327 deutlicher dargestellt ist, in die Fig. 328. Diese Figur hat ebenso viel Hauptspitzen, als Fig. 327, nämlich elf. Jede Spitze erscheint jetzt aber als isolirter Lichtstrahl, welcher in

Fig 327.



einigem Abstande vom Mittelpunkte beginnt und daselbst am dicksten ist. Zwischen die beiden Strahlen, welche jeder der schräg nach unten und jeder der horizontal seitwärts gerichteten Arme erzeugt hat, legt sich ein nahe am Mittelpunkte beginnender fast ebenso stark leuchtender Stiel. Das Zentrum zeichnet sich durch einen leuchtenden Mittelpunkt aus.

Zwischen die einzelnen Strahlen legen sich schwächer leuchtende Lichtspitzen und auch in der Mittelpartie bilden sich häufig noch untergeordnete Lichtlinien.

Der leuchtende Mittelpunkt nimmt in meinen Augen leicht eine exzentrische Lage nach der Nase an, verschmilzt daselbst auch leicht mit dem Stiele der horizontalen Strahlen, zuweilen auch mit dem Stiele der nach unten gehenden Strahlen, während der Stiel der nach der Schläfe zeigenden horizontalen Strahlen sich wohl an den einen oder anderen dieser Strahlen anlehnt oder auch den Stiel der abwärts geneigten Strahlen be-

·ührt. Fig. 329 stellt einen solchen nicht ganz vollkommen symmetri-
ıchen Stern für das linke Auge dar.

Fig. 328.

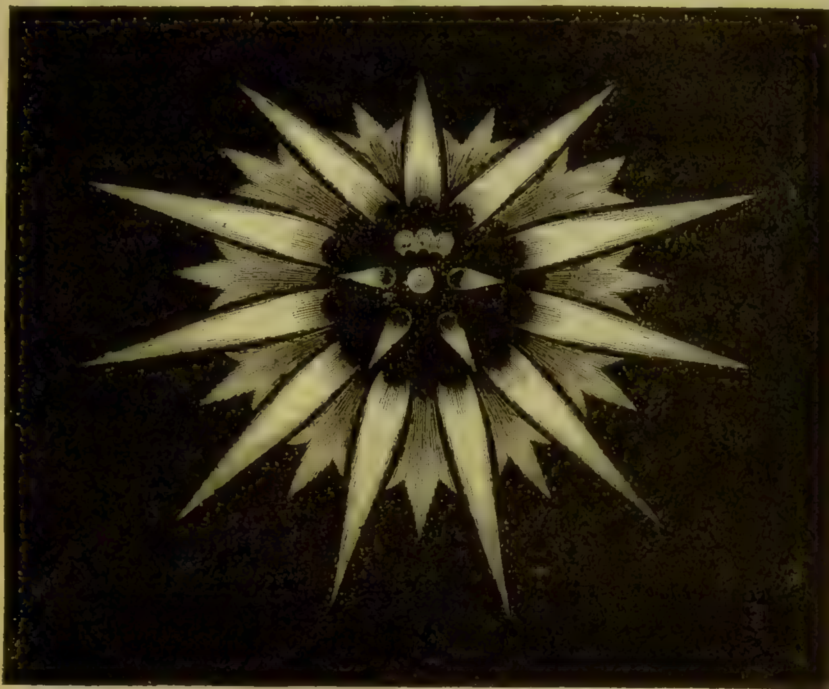


Fig. 329.



Fig. 330.



Der Grundtypus dieser Figur und somit des Sternes Fig. 327 ist un-
ɜrkennbar ein fünfarmiger Stern, welcher an jedem Arme einen gabel-
rrmigen Ansatz trägt (Fig. 330). Von diesen Armen steht einer vertikal
ıach oben, zwei stehen horizontal nach rechts und links und zwei nei-
ɜn sich unter Winkeln von 60 Grad schräg nach unten. In der Wirklich-
ɜit tritt an dem nach oben gerichteten Arme die Gabel an dem Stiele
ef nach unten, sodass der Stiel selbst zum Strahle wird und sich
araus eine dreizackige Krone bildet. Der Stern in Fig. 318 ist als eine
omposition nach Fig. 331 (a. f. S.) aufzufassen. In der That verwandelt
ch der Stern Fig. 318 und der ebenso gebildete kleinste Stern Fig. 319,

wenn man das Auge näher akkommodirt, in die der Fig. 331 entsprechende Fig. 332.

Fig. 331.

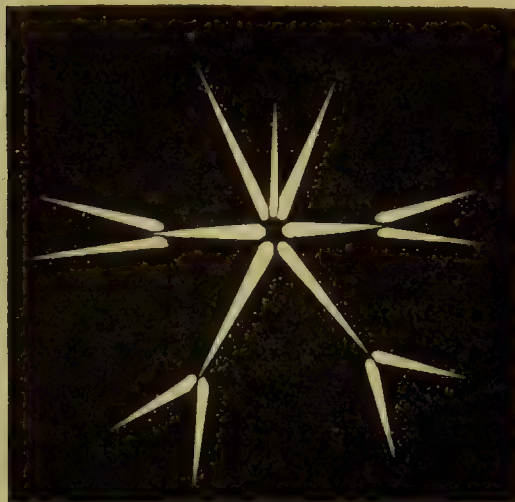


Fig. 332.



11. Schwarzer Strahlenstern. Im Vorstehenden handelt es sich um einen leuchtenden Punkt auf dunklem Grunde. Dieselbe Erscheinung erzeugt aber auch ein dunkler Punkt auf hellem Grunde. Man mache auf ein Stück weisses Papier einen kleinen schwarzen Dintefleck und stelle dieses Papier gegen die Kuppel einer Stubenlampe, um dasselbe recht durchscheinend zu machen. Akkommodirt man nun das Auge näher, indem man sich in eine passende Entfernung begeben hat; so erscheint der Fleck als ein Stern von schwarzen Strahlen nach Fig. 333, welcher genau der Form in Fig. 319 entspricht.

Fig. 333. 
Fig. 334. 
Fig. 335. 
Fig. 336. 
Fig. 337. 
Fig. 338. 

Jenachdem mann das Auge weniger stark zu der falschen Akkommodation zwingt oder einen sehr kleinen Punkt vor sich hat, von welchem man sich nicht weit entfernen kann, nimmt der Stern eine der unvollkommneren Formen Fig. 334, 335, 336 an, welche nur dadurch entstehen, dass die Trennung in die elementaren Strahlen nicht überall vollständig zu Stande gekommen ist. In diesem Falle sind die Strahlen selbst weniger dünn.

Erzeugt man nur eine schwache Akkommodationsänderung des Auges, wie es am leichtesten geschieht, wenn man dicht vor eine Fensterscheibe tritt, auf welcher sich ein kleiner dunkler Fleck befindet; so behalten die Strahlen nahezu die Form des Fleckes selbst, bleiben also rundlich, sodass man das Bild des fünf- oder sechsmal vervielfältigten Fleckes ausser dem im Mittelpunkte sich darstellenden Flecke oder als einen Kranz von dunklen Punkten mit einem dunklen Mittelpunkte nach Fig. 337 vor Augen hat. Bei noch schwächerer Akkommodationsänderung fallen diese Flecke zum Theil aufeinander (Fig. 338).

Da sich die erzwungene Akkommodation des Auges auf eine kürzere Sehweite allmählich von der richtigen ausgehend erzeugt; so stellen die obigen Figuren in rückgängiger Ordnung, Fig. 338 bis 333, die Bewe-

ngen und Verwandlungen dar, wie sie sich nach und nach vor unserem ige vollziehen.

12. Einfluss der Akkommodation. Akkommodirt man das Auge f den dunklen Fleck zu weit, was sich am leichtesten mit einer Glaseibe erzielen lässt, durch welche man an einem darauf befindlichen nklen Flecke vorbei auf einen entfernteren Gegenstand blickt; so treten Formen Fig. 338 und 337 in diametral umgekehrter Stellung Punkte auf. Zu einem eigentlichen Strahlensterne lässt es sich ürlich bei diesem Versuche ebenso wenig bringen, wie bei dem entechenden Versuche unter No. 9 mit dem leuchtenden Punkte, sondern r zu einem Kranze von Punkten.

13. Betrachtung des Strahlensternes durch ein feines Loch. trachtet man den Strahlenstern durch ein feines Loch in einem ganz he vor das Auge gehaltenen Kartenblatte, ein Loch, welches erheblich iner sein muss, als die Pupille; so verschwinden alle Strahlen.

Betrachtet man denselben durch mehrere dicht neben einander gechene feine Löcher, welche ganz nahe vor das Auge gehalten wern; so sieht man ebensoviel Lichtpunkte ohne Strahlen. Wenn man aber s Blatt dreht, hüpfen diese Punkte, und sind bald heller, bald dunkler.

14. Vergrösserung beim Blicke durch ein feines Loch. Durch feines Loch gesehen, erscheint uns ein leuchtender Körper, welcher m freien Auge das Bild eines Strahlensternes giebt, wie schon unter . 13. erwähnt ist, ohne Strahlen und in genügender Entfernung als uchtender Punkt oder kleine leuchtende Scheibe. Angenommen, das ch sei viel kleiner als die Pupille, dasselbe habe z. B. nur einen Durchesser von 2 Millimeter, während die Pupille bei Abend etwa 6 Millimeter it ist; alsdann erscheint uns das Loch beim Blicken durch dasselbe ch §. 31 No. 15 sehr erheblich grösser. Man kann sich nun leicht so it von dem leuchtenden Körper entfernen, dass sein scheinbarer Durchesser nicht bloss kleiner als der scheinbare, sondern auch kleiner als der rkliche Durchmesser des Loches erscheint, d. h. dass sein Sehwinkel einer ist, als der dem wirklichen Durchmesser des Loches entsprechende hwinkel, sodass also das Bild jenes Körpers ungehindert durch die Ränr des Loches in das Auge fallen kann.

Unter diesen Umständen wird man finden, dass der scheinbare Durchesser des leuchtenden Körpers, obgleich dieser keine Strahlen schiesst, ch grösser ist, als dem Sehwinkel entspricht, und dass derselbe i zunehmender Entfernung sich nicht verhältnissmässig, sondern in hwächerem Maasse verkleinert und unter ein gewisses Minimum nicht rabsinkt.

So erscheinen uns die unendlichen Sterne, deren Sehwinkel weit unter r durch astronomische Instrumente messbaren Grösse liegt, doch sowohl it freiem Auge, als auch durch feine Öffnungen als leuchtende Scheiben n messbarem Durchmesser.

Um die Effekte der vorstehenden Erscheinung einigermaassen in hlen auszudrücken; so finde ich, dass eine 3 Zoll hohe Gasflamme,

welche durch ein Loch von $^1/_2$ Mm. Durchmesser betrachtet wird, und welche in einiger Entfernung als helle runde Scheibe erscheint, ihren scheinbaren Durchmesser nur so lange merkbar verkleinert, als die Entfernung 400 Fuss oder das 1600-fache ihres wirklichen Durchmessers beträgt. In dieser Entfernung erscheint mir diese Flamme in derselben Grösse wie mir eine nichtleuchtende Scheibe von mehr als 1 Millimeter oder von circa $^1/_2$ Pariser Linie Durchmesser bei gewöhnlicher Beleuchtung aus der Entfernung des deutlichen Sehens von ppr. 10 Zoll erscheint, also viel zu gross: denn während der Flamme in der obigen Entfernung nur ein Sehwinkel von 2′ 9″ entspricht, hat ihr scheinbarer Durchmesser noch einen Sehwinkel von 14′ 20″. Bei grösserer Entfernung ändert sich nun der scheinbare Durchmesser der Flamme fast gar nicht mehr. In einer Entfernung von 600 Fuss, welche dem 6400-fachen des wirklichen Durchmessers mit einem Sehwinkel von 32″ entspricht, ist der scheinbare Durchmesser jener Scheibe von dem früheren, welcher einem Sehwinkel von 14′ 20″ entspricht, nicht merklich verschieden. Nur die Lichtstärke der Scheibe nimmt bei diesen grösseren Entfernungen ab.

Hiernach findet also unter den vorliegenden speziellen Verhältnissen eine Erweiterung des Umrisses der leuchtenden Figur um die Sehwinkelgrösse von etwa 7 Minuten statt, welche nur auf subjektiven Ursachen beruht.

Wenn man Gelegenheit hat, durch ein feines Loch auf einmal viele Flammen zu überblicken, welche sehr verschiedene Entfernungen haben, wie es z. B. in langen mit Gas erleuchteten Strassen geschehen kann; so erscheinen dieselben sämmtlich als gleich grosse Scheiben von verschiedener Lichtstärke, und ihre scheinbare Grösse ändert sich nicht, wenn auch die Grösse des Loches von 0 bis 1 Millimeter schwankt. Bei grösseren Löchern bleibt die Scheibe nicht mehr völlig rund, da sich das Phänomen der Strahlung anbahnt. Die helle Scheibe nimmt dann immer nur einen kleinen Theil der Öffnung ein, in welcher das Loch selbst in unserem Auge erscheint. Da nun das Loch schon viel kleiner ist als die Pupille; so ist es die helle Scheibe noch weit mehr.

15. Lage des Strahlensternes gegen das Auge. Die Strahlen der Lichtsterne liegen in der auf der Sehlinie normal stehenden Ebene: sie strecken sich nicht dem Beobachter entgegen.

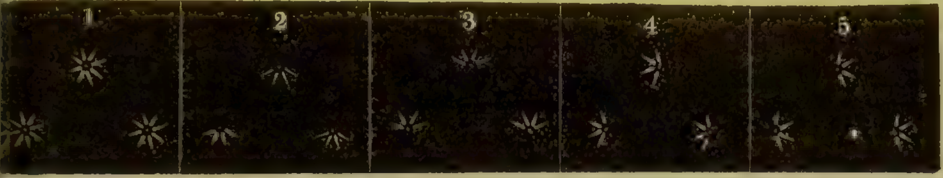
Überblickt man gleichzeitig mehrere solche Sterne; so laufen die korrespondirenden Strahlen an allen parallel.

Indem man den Kopf dreht, drehen sich alle Sterne mit. Dreht man jedoch nur die Augen im Kopfe; so verbleiben alle Sterne in derselben Lage und man kann sogar mit den Augen jeden Punkt eines Strahles fixiren.

16. Einfluss der Pupille. Nähert man die Kante eines dicht vor das Gesicht gehaltenen Kartenblattes immer mehr dem Auge; so verschwinden in dem Augenblicke, wo diese Kante den Pupillenrand verdeckt, die Strahlen sämmtlicher im Gesichtskreise liegenden Sterne an derjenigen Seite, von woher man die Kante nähert. Die Sternengruppe

l) in Fig. 339 nimmt also resp. die Gestalt (2), (3), (4), (5) an, jenachem man den Pupillenrand von oben, von unten, von rechts oder von nks verdeckt.

Fig. 339.



Die Gestalt (2) kann man auch ohne Hülfe eines Blattes dadurch icht erzeugen, dass man mit stark gesenktem Kopfe von unten nach ben gegen den Stern blickt, wobei der obere Pupillenrand durch die ugenbraue verdeckt wird.

17. Veränderung der Erscheinung bei allmählicher Erweiterung des Loches. Erweitert man das Loch in einem Kartenblatte, durch elches man einen Strahlenstern beobachtet, immer mehr; so ergiebt sich olgendes.

Bei genügender Feinheit des Loches zeigt sich nur ein Lichtpunkt hne Strahlen. Bei Erweiterung desselben tritt endlich ein Zustand ein, o der Stern zwar immer noch als einfache Lichtfigur erscheint; derselbe t jedoch nur dann rund, wenn man das Loch genau vor die Mitte der upille hält, und verwandelt sich in einen einfachen länglichen trahl, wenn man das Loch etwas verschiebt, und zwar hat dieser Strahl ie Richtung desjenigen Strahles des Sternes in Fig. 319 oder 320. elcher der Richtung der Verschiebung entspricht. Wird das Loch noch eiter; so stellen sich bei der exzentrischen Stellung des Loches wei nebeneinander liegende Strahlen ein, später drei, und es tritt llmählich der Zustand ein, wo auch bei konzentrischer Stellung des oches der ganze Stern mit kurzen Grundstrahlen erscheint. Im tzteren Falle hat die Weite des Loches noch nicht die Öffnung der im unkeln sehr erweiterten Pupille erreicht. Endlich erscheint der Stern urch das Loch, welches immer noch kleiner sein kann, als die Pupille, benso vollkommen, wie mit freiem Auge. Allerdings darf das Loch nicht u weit vor dem Auge verschoben werden: geschieht Diess; so tritt die nter No. 16 beschriebene Erscheinung ein: es verschwinden nämlich die trahlen an derjenigen Seite, wo man den Pupillenrand mit dem Kartenande bedeckt.

18. Unvollkommenes Strahlenphänomen. Wie schon erwähnt, ndet das Strahlenphänomen in seiner Vollkommenheit nur dann statt, enn der Gesichtswinkel des leuchtenden Objektes klein genug, wenn die elligkeitsdifferenz zwischen diesem Objekte und der Umgebung hineichend gross und wenn die Gesammtmenge des in das Auge fallenden ichtes angemessen klein (also die Pupille hinreichend gross) ist.

Wenn nun auch manche grossen leuchtenden Objekte nicht als vollommene Strahlensterne erscheinen; so stehen sie doch häufig, je nach

ihrer Grösse und den übrigen Helligkeitsverhältnissen, auf der Stufe der in Fig. 314, 315, 316 dargestellten Figuren. Sie entsenden nämlich nach bestimmten, mit den Strahlen der vollkommenen Sterne übereinstimmenden Richtungen, wovon sich zunächst die horizontalen Richtungen nach beiden Seiten, alsdann die beiden Richtungen schräg rechts und links nach unten und zuletzt die Richtung nach oben auszeichnen, Lichtscheine, welche aus dicht gedrängten Parallelstrahlen bestehen und eine scharfe Begrenzung wie ein Halbschatten haben.

So erblicken wir fast immer den Mond in der Gestalt der Fig. 340, umgeben von einem strahlenförmigen Lichtscheine, welcher sich nach den

Fig. 310.



eben genannten fünf Richtungen ausbreitet. Diese Erscheinung tritt am kräftigsten hervor, wenn der Mond weder zu hell scheint, also das Auge nicht zu stark durch das Gesammtlicht affizirt (die Pupille nicht zu sehr verengt), noch zu matt, also keinen zu schwachen Lichteindruck macht und die erforderliche Helligkeitsdifferenz zwischen seinem Lichte und der Atmosphäre erzeugt.

Diese Strahlenscheine verlängern sich ansehnlich und sondern sich deutlicher ab, wenn man das auf den Mond blickende Auge zu nahe akkommodirt.

Wir bemerken noch, dass der Winkel, unter welchem wir den Mond sehen, etwa 31′ (für die Sonne 32′) beträgt, dass also dieser Winkel nahezu den Werth hat, bei welchem sich nach No. 1 auch bei irdischen Flammen der Lichtschein am deutlichsten entwickelt.

19. Hinsichtlich der Dimensionen des leuchtenden Objektes, der Entfernung des Auges und des Sehwinkels lassen sich die Strahlenphänomene am bequemsten in der Weise studiren, dass man durch ein Kartenblatt oder durch eine Blechtafel Löcher von verschiedener Grösse schlägt und diese Tafel vor ein Licht stellt, sodass das betreffende Loch zum leuchtenden Objekte wird.

§. 54.

Erklärung der Strahlenphänomene.

1. Die Linse als Hauptsitz des Strahlenphänomens. Dass der ahlenstern keine objektive, sondern eine *subjektive* Erscheinung ist, chtet aus den Veränderungen, welche er selbst durch die Veränderung Auges, durch zu nahe oder zu weite Akkommodation, durch Drehung Kopfes, durch den Blick an Kanten vorbei und durch feine Löcher idet, ohne Weiteres ein. Es fragt sich nur, wo der Sitz dieser Täuung liege, ob in der Netzhaut, im Glaskörper, in der Linse, in der genbogenhaut, in der Hornhaut oder in den Augenlidern und Wimpern.

Die *parallele Stellung* der Strahlen aller gleichzeitig in unser ichtsfeld fallenden Sterne schliesst meines Erachtens schon ganz allein Möglichkeit der Erzeugung in der *Netzhaut* aus, da es zu abnorm e, wenn die als *Kugelfläche* geformte Netzhaut, um Diess zu erglichen, in einer Weise organisirt wäre, welche in allen ihren Punkten *Parallelismus mit bestimmten Richtungen des absolu-* *Raumes* und nicht eine *Symmetrie zum Mittelpunkte* beidete. Läge der Grund in der Netzhaut; so müssten die oberen Strah- aller Sterne, welche wir gleichzeitig sehen, nothwendig nach *einem* nkte konvergiren, und auf diesen *verschiedenen Richtungen* ssten die *Seitenstrahlen normal* stehen. Aber auch die eigenmlichen Veränderungen, welche die Sterne durch feine Öffnungen, ch vorgerückte Kanten und durch die veränderte Akkommodation des ges erleiden, schliessen die Annahme der Ursache in der Netzhaut aus.

Am bestimmtesten spricht übrigens gegen diese Ursache die im vorhenden Paragraphen unter No. 11 erwähnte Thatsache, dass bei einer igerung des Zustandes, welcher den Stern erzeugt, auch ein *dunkler* *nkt* sich in einen *dunklen Strahlenstern* verwandelt. Räumte n nun auch die Möglichkeit ein, dass ein starker *Lichtreiz* auf die tzhaut um sich griffe, um eine radiale Lichtfigur zu erzeugen; so könnte n doch dieselbe Wirkung unmöglich auch einem *Lichtmangel* zustehen. Der *schwarze Strahlenstern* ist der unbedingte Widerruch gegen jene Annahme: denn wenn ein *heller Punkt* wegen seines izes in die *dunkle Umgebung* der Netzhaut *ausstrahlt*; so nn ein *dunkler Punkt* nicht in die *helle Umgebung* ausstrah-, sondern umgekehrt muss die *helle Umgebung* in den *dunklen* *unkt hineinstrahlen*.

Die vorstehende Behauptung, dass der Strahlenstern nicht auf einer n dem Lichtbilde des leuchtenden Objektes auslaufenden Reizung der tzhaut beruhe, sondern ein *wirkliches Lichtbild auf der Netz-* ut ist, muss sich auch durch direkte Beobachtung mittelst des Augeniegels nachweisen lassen.

Die erwähnten Veränderungen des Strahlensternes, namentlich der nstand, dass die Strahlung schon bei dem Blicke durch eine Öffnung zu ande kömmt, welche kleiner ist als die Pupille, sprechen auch gegen

den Pupillenrand der Regenbogenhaut als Sitz dieser Erscheinung.

Ebenso wenig kann von der Hornhaut und wegen der Regelmässigkeit der Sternfigur von den Augenlidern und Wimpern die Rede sein.

Das Phänomen des dunklen Strahlensternes macht jede Hypothese unmöglich, welche sich auf Reflexion, sei es an den Rändern der Pupille oder an den Wimpern oder an einem anderen Theile des Auges stützt: denn an diesen schwach spiegelnden Flächen können nur starke Lichter, nicht aber dunkle Schatten reflektirt werden.

Die parallele Stellung aller Sterne lässt darauf schliessen, dass die Erscheinung in einem Organe zu Stande komme, welches durch die Axen aller Strahlenkegel von leuchtenden Objekten in seinem Mittelpunkte oder doch in einem solchen Punkte getroffen wird, welcher als ein Zentrum für die Struktur, für das Nervennetz, für die Thätigkeit dieses Organs erscheint. Nur unter solchen Umständen ist es erklärlich, dass dieses Organ durch die verschiedenen Richtungen jener Axen in seiner ganzen Masse, auch gegen seinen Umfang hin in gleicher Weise affizirt werde, um parallele Lichtbilder zu erzeugen. Hiernach kann man den Ursprung der Strahlensterne nur in der Linse oder im Glaskörper oder in Beiden zugleich suchen.

Bei der Veränderung der Akkommodation spielt unstreitig die Linse theils durch die Variation ihres Abstandes von der Netzhaut, gleichviel welcher Antheil hiervon auf die relative Verrückung der Linse und welcher auf die Formveränderung des Augapfels kömmt, theils durch die Variation ihrer Wölbung und ihrer Dichtigkeit die Hauptrolle, und man muss die Effekte der zu nahen und der zu fernen Akkommodation im überwiegendem Maasse den Funktionen der Linse zuschreiben. Da nun diese Effekte nach vorstehendem Paragraphen No. 12 eine wesentliche Rolle bei den Strahlenphänomenen spielen; so gelangt man zu dem Schlusse, dass wahrscheinlich nicht der Glaskörper, sondern die Linse der Hauptsitz dieser Erscheinungen sei.

2. Mitwirkung des Glaskörpers. Gleichwohl ist hierbei unzweifelhaft der Glaskörper von wesentlicher Bedeutung, weil er vermittelst der Hyaloidea, welche den Glaskörper und die Linse zugleich einhüllt, und vermittelst der zahlreichen ihn im Inneren durchsetzenden Häute, welche wiederum mit der Hyaloidea verbunden sind, mit der Linse rings herum innig verwachsen ist. Beide Organe sind daher bei vorstehendem Phänomene kaum voneinander zu trennen, sondern wie ein zusammengehöriges Ganze anzusehen.

Die besondere Konstruktion des Glaskörpers mit seinen vielfachen zellenförmigen Häuten lässt darauf schliessen, dass die Veränderungen der Linse, welche nach vorstehender Annahme durch unregelmässige Brechung des Lichtes den Strahlenstern erzeugen, durch die Affektion der Linse Seitens der Häute des Glaskörpers wesentlich beeinflusst werden.

Inzwischen lässt sich die Frage, ob ausschliesslich die Linse oder ausschliesslich der Glaskörper oder ob die Kombination Beider das Sternenphänomen bedingt, leicht durch Personen entscheiden, welche durch

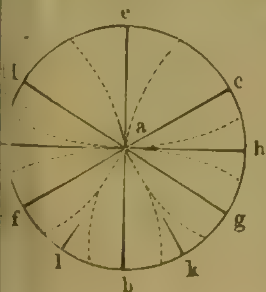
ıe Staaroperation der Linse beraubt sind. Zeigt sich in einem solɘn Auge der Stern ebenso wie in einem normalen; so erzeugt der askörper allein jene Erscheinung: erblickt dagegen ein solches ge keinen Strahlenstern; so liegt der Grund lediglich in der nse: nimmt ferner in jenem Auge der Strahlenstern eine defekte Form so bewirkt die Kombination von Linse und Glaskörper es Phänomen durch Komposition zweier gesonderten Effekte und lässt sich der Antheil eines jeden bestimmen: verwandelt sich aber llich in jenem Auge der Strahlenstern in eine spezifisch andere Erıeinung; so ist die Kombination von Linse und Glaskörper sentlich und Beide beeinflussen und bedingen sich in einer Weise, welche besonderes einheitliches Gesammtresultat zur Folge hat.

Der Kürze wegen werden wir im Folgenden als Sitz des fraglichen länomens die Linse bezeichnen, wobei wir stillschweigend dem Glasrper den ihm gebührenden Einfluss vorbehalten. Beide bilden, wie ıon erwähnt, ein durch Häute fest verwachsenes Ganze und es genügt rläufig, die Unwirksamkeit der übrigen Organe des Auges hierbei nstatirt zu haben.

3. Besondere sternförmige und konzentrische Struktur der nse und des Glaskörpers. Was nun die spezielleren Gründe betrifft, lche für die Linse (nebst Glaskörper) sprechen; so erkennt man leicht, ss ausser dem gewichtigen Grunde der zellenförmigen Häute des askörpers, welche auch an die Linse greifen, viele anderen Verhältsse der Linse der in Rede stehenden Verwandlung des Lichtbildes günig sind.

Die Linse wird von ihrem Rande her, oben und unten durch die heftepunkte der sie umschliessenden Häute so gefasst, dass wenn diese ute sich spannen, um die Wölbung, die Dichtigkeit oder den Ort der nse zu verändern, die Affektion nicht stetig und gleichmässig über die nze Masse der Linse sich verbreitet, sondern in radialen Richtunn vor sich geht. Hierbei werden nun, solange das leuchtende Objekt ch sehr klein und schwach ist, erst gewisse Hauptradien affizirt rden und der Linse eine sternförmige Figur ertheilen. Je stärker d grösser das leuchtende Objekt wird, desto mehr werden die Fibern r Linse nicht bloss vermöge des verstärkten und dadurch um sich eifenden Lichtreizes, sondern auch vermöge der bei der Vergrösrung des Objektes sich einstellenden Verschiedenheit und gegenseitigen Durchdringung der Richtungen der Lichtstrahlen in ihrer Gesammtheit affizirt werden, folglich der Linse die normale Form und Beschaffenheit verleihen.

Fig. 341.



Denken wir uns nun unter jenen, für den am reinsten ausgeprägten Strahlenstern in Fig. 319 günstigen Verhältnissen werde die Linse (Fig. 341) durch die Anspannung der Häute in den Hauptrichtungen zunächst nach den drei Radien *a b*, *a c*, *a d*, welche gleiche Winkel einschliessen, und nach den drei umgekehrt liegenden Radien *a e*, *a f*,

ag in sechs gleiche Sektoren zerlegt. In dem oberen vertikalen Radius *ae* möge die vom Umfange *e* vordringende Spannung nicht ganz bis ins Zentrum *a* vordringen. Dagegen bilden sich in der Mitte der unteren vier Sektoren bei *h*, *i*, *k*, *l* vom Umfange her Spannungen, von welchen die beiden horizontalen bis nahe an das Zentrum, die anderen beiden bei *k* und *l* jedoch weniger weit vordringen.

Die sechs Hauptradien fallen in die Richtungen der in §. 4 No. erwähnten, in Fig. 36 und 37 abgebildeten Spalten oder Furchen der Linse, von welchen die ersten drei *ab*, *ac*, *ad* auf der Vorderfläche und die anderen drei *ae*, *af*, *ag* auf der Hinterfläche liegen.

Nehmen wir an, die Linse sei in diesen Radien gewissermaassen eingekniffen, sodass die Wölbungen der zwischen den Radien liegenden Flächen nur im Allgemeinen der zu einer vollkommenen Akkommodation erforderlichen gleichmässigen Krümmung folgen können, sonst aber konvexe Partien bilden. welche in der nächsten Nachbarschaft der Radien sich stark umbiegen. Am Rande *b* der Linse sei der Einschnitt jedes Radius am stärksten: nach der Mitte *a* verliere sich die Tiefe immer mehr, sodass die Linse auf einem gewissen Bezirke rings um den Mittelpunkt *a* die normale und gleichmässige Krümmung habe.

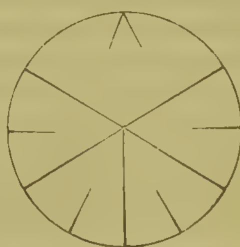
Eine solche Linse kann ein von einem Punkte ausgehendes Strahlenbündel nicht wieder auf einen Punkt konzentriren, sondern nur auf Linien, welche in der punktirten Gestalt (Fig. 341) dem fraglichen Strahlensterne entsprechen. Bloss der mittlere normale Bezirk der Linse giebt eine Konzentration auf einen Punkt. Von der Ausbildung der einzelnen Radien, Spannungen und Krümmungen hängt die Form des Sternes, die Grösse und Gestalt seiner Strahlen und die Lichtvertheilung in der ganzen Figur in leicht zu erachtender Weise ab. Ebenso kann eine gewaltsame Zerrung der Linse bei der im vorigen Paragraphen mehrfach besprochenen zu nahen Akkommodation des Auges, wobei die Linse stärker gekrümmt werden muss, eine solche Spannungsfigur in der Mittelpartie erzeugen.

Namentlich mag, solange der leuchtende Punkt noch ziemlich nahe, gross und kräftig ist, der obere vertikale Einschnitt *e* kein einfacher, sondern nach Fig. 342 ein doppelter sein, welcher die vollkommene Ausbildung einer dreizackigen Krone gestattet. Inzwischen ist die Annahme der Spaltung des oberen Radius zur Erklärung der ausgebildeten dreizackigen Krone bei den grösseren Sternen nicht gerade eine unbedingte Nothwendigkeit: die Partie *dac* der Linse kann sich auch bei einem einfachen vertikalen Einschnitte *e* (Fig. 343). so wölben, dass sich zwischen zwei Seitenstrahlen ein verhältnissmässig langer Mittelstrahl bildet. Besonders würde Diess dann leicht geschehen, wenn etwa der vertikale Radius sich nach Fig. 343 in zwei

Fig. 342.



Fig. 343.



rme spaltete. Wenn sich bei der Entfernung oder Verkleinerung des uchtenden Objektes diese gabelförmigen Zweige immer mehr verkür-en; so kann hierdurch schliesslich dieselbe Wirkung herbeigeführt wer-on, wie durch den einfachen Einschnitt nach Fig. 341.

Der optische Effekt, welcher dadurch hervorgebracht wird, dass man ch nach Vorstehendem die Gestalt der Linse nicht als eine vollkom-ene Rotationsfigur, sondern mit eingekniffenen Radien denkt, kann aber och auf eine andere Weise, nämlich dadurch hervorgebracht werden, dass an sich jene Gestalt als normal, dagegen die Dichtigkeit der nzelnen Theile der Linse in den einzelnen Sektoren verschieden vor-ellt. Dieses ist denn auch meines Erachtens die natürlichste An-hauungsweise, und wenn man sich vergegenwärtigt, dass die Linse nebst om Glaskörper behuf der Akkommodation an die verschiedenen Entfer-ungen und Farben die Fähigkeit besitzt, allgemeine Dichtigkeitsverän-erungen vorzunehmen, dass aber eine Zusammenziehung und Ausdehnung nes axialen Körpers von gewissen Hauptnerven regiert werden wird, elche entweder von der Axe oder von der Peripherie aus, immer aber in ewissen Radien am stärksten wirken; so ist es sehr erklärlich, dass i der Unvollkommenheit alles Irdischen in der Linse und im Glaskörper ewisse Ungleichmässigkeiten der Dichtigkeit, abgetheilt ach Sektoren, besonders in solchen Zuständen vorhanden sein wer-en, wo der Lichtreiz des Objektes nicht vollkommen und stark genug ist, n eine genaue Akkommodation hervorzubringen.

Diese Annahme findet eine ziemlich direkte Bestätigung durch die in 4 No. 9 beschriebene Struktur der Linse aus den prismatischen Elemen-n. Die besondere sternförmige Gruppirung dieser Elemente nach Fig. 33 dingt unzweifelhaft die Vertheilung der Dichtigkeit nach sternförmigen guren. Übrigens darf man nicht annehmen, dass jene sternförmige ruktur eine Ausgleichung der Dichtigkeit im Linsenkörper in konzentri-hen Linien ganz unmöglich mache, sondern dass bei gehöriger Affektion ler vollkommener Akkommodation eine nahezu gleichmässige Dichtigkeit lerdings stattfinde, dass sich dieselbe aber bei unvollkommener Akkom-odation verliere und alsdann durch die sternförmige Struktur beeinflusst erde.

Die im vorhergehenden Paragraphen mitgetheilten Erscheinungen ssen zwar keinen Zweifel übrig, dass der eben erwähnte der richtige rklärungsgrund für die Sternenphänomene ist; ich erlaube mir jedoch s weiteren und anschaulichen Nachweis noch folgendes Experiment an-ıführen.

Blickt man durch ein feines Loch gegen eine helle Fläche; so er-heint dasselbe als eine helle Scheibe mit dunklen oder schattigen Ra-en (Fig. 344). Diese Radien entspringen aus den eben bezeichneten

Fig. 344.



Fig. 345.



Fig. 346.



Fig. 347.



Dichtigkeitsverschiedenheiten der Linse und entsprechen den mehr zerstreuenden Stellen, was aus Folgendem hervorgeht. Hält man eine Nadel in angemessener Entfernung so vor das durchlochte Blatt, dass sich die Spitze in dem hellen Felde rechts von einem dunklen Radius befindet; so erhält man das Bild Fig. 345. Rückt man die Nadel soweit nach links, dass ihre Spitze in dem hellen Felde links von jenem Radius erscheint; so hat man das Bild Fig. 346. Jeder Versuch aber ist vergeblich, welcher darauf ausgeht, die Spitze der Nadel gerade auf dem dunklen Radius erscheinen zu lassen: sobald man die Nadel in diese Mittelstellung bringt, trennt sich ihr Bild und es erscheinen nach Fig. 347 zwei Nadeln in den benachbarten beiden hellen Feldern.

4. Sphärische Aberration. Wenn der Lichtreiz eines Strahlenbündels zu schwach ist, um das Auge zu einer ganz vollkommenen Akkommodation zu veranlassen; so wird die Linse nicht die genügend starke, straffe und normale Wölbung annehmen. Diese Wölbung wird im Allgemeinen schwächer sein, als sie sein müsste, und die Pupille wird, ebenfalls in Folge des ungenügenden Lichtreizes und auch induktorisch, weiter werden, als sie werden müsste. In Folge dieses Umstandes vergrössert sich die sphärische Aberration. Die Rand- und die Zentralstrahlen konvergiren nicht mehr in demselben Punkte und der unter normalen Verhältnissen entstehende Bild- oder Brennpunkt erweitert sich zu einer Bild- oder Brennfläche, welche sich von der Netzhaut in das Auge erstreckt (§. 8 No. 4). Wäre nun die Wölbung und Dichtigkeit der Linse und des Glaskörpers in so weit normal, dass sie rings um die Augenaxe symmetrisch wäre; so bildete jene Fläche eine Rotationsfläche: die in vorstehender Nummer beschriebene sternförmige Struktur der Linse, welche in Folge des ungenügenden Lichtreizes stärker hervortritt, verwandelt diese Rotationsfläche in eine sternförmige Fläche, indem sich das Licht in gewissen Radien stärker als in anderen konzentrirt. Das Netzhautbild des leuchtenden Punktes wird hierdurch eine Zerstreuungsfigur, aber keine kreisförmige, sondern eine sternförmige.

Wenn man versucht, das Auge näher zu akkommodiren, also die Augenaxe zu verlängern; so muss das Strahlenphänomen wachsen, weil die Brennfläche jetzt weiter vor die Netzhaut tritt, das Zerstreuungsbild auf der Netzhaut also sich vergrössert.

Je näher der leuchtende Punkt an das Auge herantritt, je vollständiger also das eintretende Lichtbündel die Wölbung der Linse akkommodiren kann, selbst wenn sich die Pupille nicht änderte, desto mehr verschwindet das Strahlenphänomen.

Wenn in Fig. 348 f die Spitze und fc der obere Theil der eben besprochenen Lichtfläche im Auge ist; so erscheint der oberste Punkt c, wenn die Spitze f in der Netzhaut fb' liegt, in dem entstehenden Zerstreuungskreise bei b', also, wenn d der Kreuzungspunkt im Auge ist, in der Richtung $b'dd'$ als oberster Punkt des Strahlenphänomens.

Das Nämliche findet auch dann noch statt, wenn sich das Auge noch näher akkommodirt, wenn also die Netzhaut nach $f_1 b_1$ weiter zurückrückt.

Wenn sich jedoch das Auge zu weit akkommodirt, wenn also die ennfläche ef nach Fig. 349 hinter die Netzhaut $b_1 f_1$ fällt; so entspricht der vom obersten Strahle herrührende Punkt b_1 dem untersten Punkte d' des Strahlenphänomens. Der Strahlenstern kehrt sich also bei dem Übergange von der zu nahen auf die zu weite Akkommodation um (vergl. No. 12 im vorhergehenden Paragraphen).

Fig. 348.

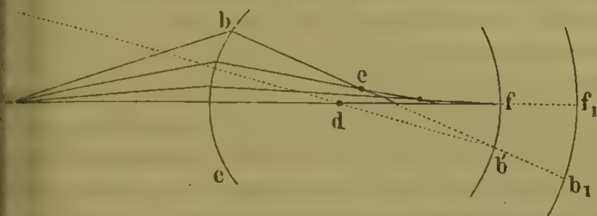
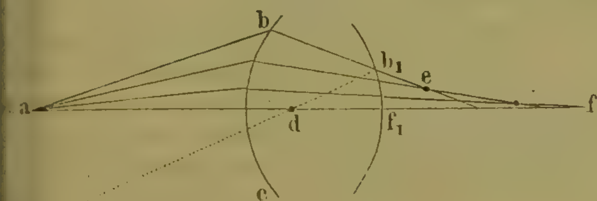


Fig. 349.



Ehe das Auge sich in dem Maasse zu nahe akkommodirt hat, dass die ganze Brennfläche hinter die Netzhaut fällt, werden erst die Stadien treten, wo jene Fläche theils vor, theils hinter der Netzhaut liegt, wo eine Vermischung oder Verundeutlichung der beiden Sternfiguren tritt.

Auf eine Kerzenflamme oder einen anderen selbstleuchtenden Punkt Dunkeln das Auge zu weit zu akkommodiren, ist ohne besondere nstliche Mittel unmöglich, weil der gegebene Lichtreiz eine Erschlafng des Auges, namentlich der Linse und der Iris nicht gestattet, wogen umgekehrt eine freiwillige Steigerung dieser Spannungen, also e zu nahe Akkommodation sehr leicht ist.

Der wahre Grund des Strahlenphänomens liegt also nach Vorstehendem der bei ungenügender Akkommodation namentlich am Rande hervorenden sternförmigen Struktur der Linse in Verbindung mit der ungenauer Wölbung entspringenden sphärischen Aberration.

Diese Ursachen erzeugen nun nicht bloss von einem selbstleuchnden, sondern sogar mit mehr Grund von jedem nichtleuchtenden jektpunkte einen Strahlenstern, vorausgesetzt, dass die übrigen sentlichen Bedingungen für das Zustandekommen der Erscheinung vornden sind. Zu diesen Bedingungen gehört vor allen Dingen genügende nkelheit des Gesichtsfeldes (damit die Pupille die nöthige ite annehmen kann), genügende Entfernung und genügende Kleinit des Objektes, weil das Auge durch ein nahes Objekt zur Verinerung der Pupille und durch ein grosses Objekt zu einer richtien oder vollkommeneren, d. h. gleichmässigeren Formbildung der Linse töthigt wird.

Hiernach können bei Tage die nicht leuchtenden Objekte wohl niels eine Sternfigur bilden: in der Dämmerung aber und in allen übrigen llen, wo Diess möglich ist, kömmt der Stern sicher zu Stande, ist aber istens zu lichtschwach, um wahrgenommen zu werden.

5. Erweiterung der Pupille. Nach der vorstehenden Annah beruht die Gestalt des Sternes auf den Formveränderungen, welche Linse erst gegen ihren Rand hin annimmt. Die Mittelpartie ble immer nahezu normal, giebt also auch immer von einem Punkte das B eines Punktes oder doch eines Kreises auf der Netzhaut.

Um den Stern zu erzeugen, muss sich die Pupille a einen gewissen Durchmesser erweitern. Das gesammte das Auge fallende Licht darf also nicht zu stark sein, weil sich so die Pupille zu sehr zusammenzieht. Ebenso darf das leuchtende Obj nicht zu nahe sein, weil Diess ebenfalls theils wegen zu grosser Hell keit, theils wegen zu starker Divergenz der einfallenden Lichtstrahl eine zu bedeutende Verengung der Pupille und auch eine vollkommen Akkommodation der Linse zur Folge hat. Ein kleines oder mö lichst weit entferntes Objekt auf dunklem Grunde und i dunklen Gesichtsraume, welches den nöthigen Lichtre durch eine entsprechende Leuchtkraft hervorbringt, i daher für das Strahlenphänomen das günstigste.

Ich habe gefunden, dass während die Pupille einen Durchmesser v 6 Millimeter hatte, ein Loch von 3 Millimeter noch einen Stern mit all Hauptstrahlen, wenngleich unvollständig entwickelt, zeigte. Hieraus ka man schliessen, dass die Mittelpartie der Linse, welche unter gewöhnlich Verhältnissen ihre normale Beschaffenheit behält, also keinen Stern zeugt, einen Durchmesser von 2 bis $2^1/_2$ Millimeter haben mag.

Wenn man übrigens, durch ein Loch von 2 Millimeter und sell durch ein noch kleineres Loch blickend, durch welches kein Stern mel sondern nur ein Lichtpunkt erscheint, das Auge gewaltsam näher a kommodirt, als dem vor uns liegenden Objekte entspricht; so verwand und vergrössert sich der einfache Lichtpunkt in eine Strahlenfigur, welc der Mittelpartie der Fig. 328 entspricht. Hieraus geht hervor, dass c Mittelpartie der Linse, welche unter gewöhnlichen Umständen norm bleibt, durch abnorme Anstrengung des Auges ebenfalls strahlenförm verändert wird, indem die Affektionen, welche den Rand der Linse v ändern, nach der Mitte zu weiter vordringen. Aus dieser verstärkt Wirkung entspringt denn auch in dem freien Auge bei der Akkomm dation auf zu grosse Nähe aus dem Sterne Fig. 327 der Stern Fig. 32

Ferner geht aus vorstehender Beobachtung hervor, dass die Zentra stelle der Linse, wenn sie auch unter den vorliegenden Verhältnissen u ohne gewaltsame Fehlakkommodation weit weniger zur strahlenförmig Zerstreuung des Lichtes affizirt wird, als die Randpartie, doch immer einem gewissen schwachen Grade hierzu inklinirt, dass sie also das v einem Lichtpunkte ausgehende Bündel nicht genau auf einen Punk sondern nur auf eine Scheibe konzentrirt, deren Minimaldurchmess von der Entfernung des Objektes unabhängig ist (vergl. No. 14 im vo hergehenden Paragraphen).

6. Theilweise Bedeckung der Linse. Bedeckt man den Ra der Linse an irgend einer Seite; so müssen die daselbst liegenden Stra len aller in unser Gesichtsfeld fallenden Sterne verschwinden. Die B deckung des Randes der Linse rings herum, d. h. der Blick durch d

ne Öffnung eines Kartenblattes vernichtet alle Strahlen, weil als- n nur die normale Mittelpartie der Linse zur Wirkung kömmt. Rückt n ein solches feines, jedoch nicht zu kleines Loch zur Seite; so wird, achdem es kleiner oder grösser ist, ein oder mehrere benachbarte ahlen zum Vorschein kommen.

7. **Vollkommene und unvollkommene Sternbildung.** Die voll- mmene Sternbildung setzt neben einem angemessenen Helligkeitsverhält- se eine gewisse Kleinheit des Sehwinkels für ein gegebenes Ob- t oder einen möglichst guten Parallelismus aller einfallenden chtstrahlen voraus. Dieser Forderung wird genügt theils durch hinreichend grosse Entfernung, theils durch eine hinreichende solute Kleinheit des Objektes. Ein sehr naher Punkt nöthigt Auge zu einer nahen Akkommodation, zur Verlängerung der Augen- , zur Verstärkung der Wölbung der Linse und zur Verengung der pille, hebt also das Strahlenphänomen wegen Beschränkung der pille auf. Vermag sich aber die Pupille wegen schwacher Hellig- des ganzen Gesichtsfeldes auf einer grossen Weite zu erhalten; so ugt auch ein naher Punkt einen Strahlenstern. Indessen wird dieser n nicht so vollkommen sein, als ein von einem entfernteren Punkte rührender, weil die geneigten Grenzstrahlen des von einem en Punkte ausgehenden Strahlenbündels die Randpartie der Linse chdringen, also starke Aberration erzeugen und dadurch die Augen- ven veranlassen, die Linsenform angemessen zu korrigiren, womit Verminderung der Abnormitäten jener Randpartie, auf denen das hlenphänomen beruht, verbunden ist.

Ein hinreichend grosses Objekt sendet geneigte Hauptstrah- ins Auge und bewirkt dadurch, selbst wenn die Pupille sehr weit ist, bessere Akkommodation der Form der Linse, besonders am Rande gl. §. 8 No. 23), ermässigt also das Strahlenphänomen.

Ausserdem kann ein grosses Objekt, selbst wenn die Bedingungen Sternbildung günstig sind, da jeder einzelne seiner Punkte n Stern bildet, und diese Sterne sich aneinander reihen, nur eine ır erzeugen, welche wie Fig. 314, 315 oder 322, 323 und wie das ndbild Fig. 340 der Gestalt des Objektes nahezu entspricht dieselbe nur mit Lichtsäumen umzieht. Diese Lichtsäume, he sich um ein nahes Objekt ziehen, werden zwar in den Richtun- der Hauptstrahlen liegen; sie werden aber aus den eben angeführten nden nicht so breit werden, wie die Strahlenarme eines vollkommenen nes lang sind. Auch wird ein ganz naher Lichtpunkt keinen n mit so langen Strahlen erzeugen, als ein entfernter.

Ausserdem wird dieser Einfluss auf die Form der Linse, welcher Verschlechterung des Sternes herbeiführt, hauptsächlich nur für die dem betreffenden Objekte herkommenden, nicht so sehr für die anderen Objekten ausgehenden Lichtstrahlen von Bedeutung sein, ich wie alle Akkommodationsakte, namentlich die unsymme- schen, lediglich für ein ganz bestimmtes Objekt sich bilden und absolutes und durchgreifendes Hinderniss für die selbstständige Wir-

kung anderer Objekte sind, vielmehr auf diese Wirkung nur ein induktorischen und unter Umständen unbedeutenden Einfluss haben.

Hieraus wird es erklärlich, dass wir gleichzeitig, also mit e undderselben Pupillenweite, mit einundderselben Gesammtmen von einfallendem Lichte und mit einundderselben Form und Spa nung der Linse von einem nahen Objekte einen unvollkommen und von einem entfernten Objekte einen vollkommenen Strahle stern in unserem Auge aufnehmen können.

8. Sternfigur dunkler Objekte. Nichtleuchtende Objekt namentlich bei der matten Beleuchtung und der grossen Entfernun welche zur Bildung von Sternenphänomenen erforderlich ist, sind lichtschwach, dass sie keine Sternfiguren von wahrnehmbarer Deu lichkeit erzeugen können. Ein nichtleuchtender Punkt aus der fra lichen Entfernung wird also vermöge der normalen Mittelpartie der Lin stets als Punkt erkannt. Dieser Punkt ist schon an sich wegen der m ten Beleuchtung und grossen Entfernung undeutlich: die von der Ran partie der Linse erzeugten Strahlen eines solchen Punktes, welche all dings existiren, sind aber so schwach und undeutlich, dass sie nic wahrgenommen werden können. Nur ganz nahe liegende klei Punkte von gewöhnlicher Beleuchtung lassen sich durch eine geste gerte Verzerrung der Linse oder überhaupt durch eine Formveränd rung derselben, welche von dem richtigen Akkommodationszustande e heblich abweicht, in eine sternförmige Figur auflösen. Diese Abweichu von der normalen Form ist aber bei der Akkommodation auf zu gros Nähe am erheblichsten: durch diese Anstrengung des Auges kann m auch von einem schwarzen Punkte einen schwarzen Strahlenstern erhalt Die Akkommodation auf zu grosse Entfernung erzeugt eine wenig bedeutende Abweichung und führt daher nur zu einem Kranze v Punkten (vergl. den vorhergehenden Paragraphen No. 11 und 12).

Die Formveränderungen der Linse sind auch der Grund, wessh ein feines Loch, durch welches man ins Helle blickt, und welches grös erscheint, als es ist, weil das Auge nicht auf die Fläche dieses Loch sondern auf einen entfernteren Punkt akkommodirt ist, nicht in gleic förmiger Helligkeit, sondern strahlenförmig mit helleren und dunkler Linien erscheint.

9. Betrachtung der Strahlensterne durch das Fernrohr. We man den Strahlenstern einer Flamme oder eines Gestirnes durch ein Fe rohr oder ein Theaterperspektiv betrachtet; so verschwinden bei schar Einstellung die Strahlen. Dieselben stellen sich aber sofort in derselb Form, wie das unbewaffnete Auge sie sieht, ein, sobald man das Fernro auszieht. Schiebt man das Fernrohr dagegen ein; so erscheint zw ebenfalls eine Sternfigur, jedoch nicht die frühere, sondern eine solc welche dem Falle entspricht, wo das Auge zu weit akkommodirt i Diese Figur ist in meinem Auge weniger scharf markirt, als die erste sie besteht aus 9 Strahlen, von welchen die oberen fünf und die unter vier fast gleichen Winkelabstand haben, während zwischen dieser ober und unteren Partie an jeder Seite etwa der doppelte Winkelabstand v

ibt, welcher durch je einen weniger vollkommen entwickelten Strahl gefüllt zu sein scheint, sodass sich mit Einschluss dieser beiden Stellen nfalls 11 Radien auszeichnen.

Zuweilen sehe ich 10 Strahlen, von welchen die beiden unteren her aneinander liegen, also sich dem Parallelismus mehr nähern als übrigen. Betrachtet man diese beiden Strahlen als eine zweiarmige one; so entspricht dieser Stern dem gewöhnlichen in umgekehrter ge.

Beachtet man, dass nach §. 52 No. 4 das Auge beim Blicke durch ein sgezogenes Fernrohr jedenfalls zu nahe auf das scheinbare Objekt akmodirt ist; so bestätigt diese Beobachtung vollständig unsere Annahme, s das freie Auge auf einen leuchtenden Punkt zu nahe akkommot ist.

Ausserdem sieht man, dass auch die Akkommodation auf zu grosse tfernung einen Strahlenstern erzeugt. Dass die Form des letzteren von des ersteren abweicht, ist sehr erklärlich, da theils die unregelmässi- Form- und Dichtigkeitsveränderungen, welche in der Linse bei fehlerter Akkommodation entstehen, sich in beiden Fällen ändern werden, ils aber auch die Konvergenz der Strahlen hinter oder vor der Netzt eine Abweichung bedingen werden, welche den Charakter der Umrung der Figur an sich trägt.

Dass übrigens die Strahlen durch eine gewisse Einstellung des Fernres zum Verschwinden gebracht werden, erläutert sich leicht, wenn n erwägt, dass die Verschiebbarkeit eines solchen Linsensystems es erglicht, das scheinbare Objekt in jede beliebige Sehweite zu bringen. sich diese Sehweiten zwischen den äussersten Grenzen der Ferne und ne bewegen, also damit jeder Grad der zu nahen und zu weiten Akmodation des Auges auf das scheinbare Objekt erzielt werden kann; folgt, dass auch eine Stellung möglich ist, in welcher das Auge auf scheinbare Objekt möglichst vollkommen akkommodirt ist, und diese llung ist es, bei welcher die Strahlen verschwinden.

10. Sternfigur vor dem ermüdeten Auge. Vor dem ermüdeten ge, nach dem Genusse von Spirituosen und überhaupt wenn der Körper angegriffen oder nervös aufgeregt fühlt, nimmt der Strahlenstern er nicht allzu entfernten Flamme die Form (1) in Fig. 350 an, welche

Fig. 350.



 durch eine rechts und links nach unten gerichtete Ausdehnung auschnet.

Übrigens gehört die Ausdehnung auf der linken Seite lediglich dem ken und die auf der rechten Seite lediglich dem rechten Auge an. Ver-

deckt man das rechte Auge; so erscheint die Figur (2): verdeckt m das linke; so erscheint die Figur (3).

Hieraus geht hervor, dass die Verzerrung aus einer unsymmetrisch Affektion jedes einzelnen Auges entspringt. Diese Affektion entspric einer Veränderung (resp. Verdichtung) der brechenden Medien an d Aussenseite des Auges. Da aber alle Veränderungen der Medien dur Nervenprozesse geleitet werden, welche vom Sehnerven, also von d hinteren Augenwand herstammen; so liegt der Sitz der Nerventhäti keit, welche jene Affektion veranlasst, an der hinteren Innenseite d Auges oder im Augenwinkel.

Welchen Einfluss das Zudrücken eines Auges auf die Normalit desselben hat, giebt sich besonders an den Sternfiguren zu erkenn Dieselben nehmen sofort eine unregelmässige Gestalt an und werd defekt.

11. Sternfigur farbiger Flammen. Es ist von Interesse, dass d Sternfigur mehr oder weniger durch die Farbe des Lichtes bedingt i Die Verschiedenheit kann man leicht mit Hülfe farbiger Gläser beo achten. Fig. 351 stellt die Sterne eines weissen, eines rothen, eines g ben und eines blauen Lichtpunktes dar.

Fig. 351.



Die Anzahl und Stellung der Hauptstrahlen ist in allen gleich. I Übrigen charakterisiren sich die einzelnen Sterne folgendermaassen.

Der weisse Stern erscheint am vollsten und reinsten; die Strahl sind kräftig, am Mittelpunkte am stärksten und laufen nach aussen Spitzen aus; an der Peripherie sind diese Strahlen durch konkave Böge miteinander verbunden. Der rothe Stern, dessen Durchmesser von alle der kleinste ist, zeigt einen geschlossenen Umfang; die Strahlen sin an diesem Umfange am dicksten und kehren ihre Spitzen gegen den Mi telpunkt. Der gelbe Stern ist dem weissen am ähnlichsten; seine Haup strahlen sind jedoch schwächer und es zeigen sich zwischen denselbe feine radiale Nebenstrahlen, welche dem ganzen Sterne einen Lich hof zur Grundlage geben; die Verbindungsbögen des rothen Sternes habe sich in einen feinen Radienschein aufgelös't. Der blaue Stern zeigt di Hauptstrahlen in feinen langen Linien; die Länge dieser Linien über trifft die des weissen Sternes; dieser Stern zeigt das Licht in der grösste Zersplitterung, wogegen der rothe dasselbe in der grössten Konzen tration enthält.

Aus der Verschiedenheit der Sternfigur der farbigen Flammen geh unwiderleglich hervor, dass jede Farbe das Auge in besonderer Weis affizirt. Allerdings legt jene Erscheinung nur Zeugniss ab für die ver

iedenen Form- und Dichtigkeitsveränderungen der brechenden Me-
n: da jedoch diese Organe nicht unmittelbar, sondern erst unter der
tung von Nerven funktioniren; so folgt zugleich, dass jede Farbe
Sehnerven einen besonderen Nervenprozess erwecken muss.

Es ist auch beachtenswerth, dass nur drei Farben: roth, gelb
blau charakteristische und selbstständige Sternfiguren geben, wäh-
d die den anderen Farben entsprechenden Figuren Übergänge zwi-
en jenen Hauptfiguren darstellen.

Was die wesentlichen Form- und Dichtigkeitsveränderungen der
nse betrifft, welche mit dem verschiedenen Farbenreize verbunden
l; so muss man aus obiger Erscheinung folgenden Schluss ziehen.

Bei weissem Lichte theilt sich die Linse (und entsprechend der
skörper) in stark gewölbte Sektoren ab, deren Krümmung in
Nähe der Axe am normalsten, d. h. am besten kugelförmig ist, sodass
daraus entstehenden Strahlen ihr Intensitätsmaximum nahe am Zen-
n der Sternfigur haben.

Das rothe Licht führt die kugelförmige Krümmung dieser Sektoren
e an den Rand der Linse, bewirkt also eine Auftreibung des Randes
. eine relative Abflachung der Mitte. Diess entspricht einer radialen
drängung der Linsenmasse nach dem Rande hin. Hierdurch kommen
Sektoren am Rande in einen besseren unmittelbaren Zusammenhang
l erzeugen die am Umfange geschlossene Sternfigur mit Strahlen, deren
ensitätsmaximum an der Peripherie liegt.

Beim gelben Lichte trennt sich der Zusammenhang am Rande der
se; es findet am Rande eine peripherische zirkulare Zusammenzie-
g statt, welche daselbst radiale Falten erzeugt und zugleich die Linsen-
sse radial mehr nach der Axe drängt, also die kugelförmige Wölbung
Sektoren mehr nach der Axe hin verlegt. In Folge dessen rückt das
ensitätsmaximum der Hauptstrahlen mehr nach der Mitte und am Um-
ge des Sternes bilden sich viele feine radiale Strahlen.

Beim blauen Lichte erreicht die zirkulare Zusammenziehung der
se ihr Maximum und dehnt sich nach der Axe hin so sehr aus, dass
kugelförmige Wölbung der Linse sich fast ganz in eine konische ver-
delt, welche die Hauptstrahlen zu langen Lichtlinien ohne stark her-
tretendes Intensitätsmaximum umgestaltet.

Alle diese Formveränderungen beruhen also auf der Kombination
lialer und zirkularer Molekularbewegungen in der Masse der
se und des Glaskörpers.

Durch Vorstehendes finden die Anschauungen in §. 27 No. 4 und in
5 No. 8 über den Einfluss der Farbe auf die Form und Dichtigkeit
Linse seine Bestätigung.

§. 55.

Lichthöfe und Lichtflimmer.

1. Der Antheil der Linse an den irisirenden Lichthöfen. Durch
stehendes dürften alle vorher beschriebenen Erscheinungen bis auf die

irisirenden Lichthöfe genügend erklärt sein. Mehrere Ursach sind im Stande, einen strahlenden Lichtschein um ein leuchtendes Obje zu verbreiten. Zunächst betrachten wir die folgende.

Ein Lichtstrahl oder vielmehr Lichtkegel bewirkt einen Reiz, ei Anstrengung derjenigen Faser des Sehnerven, auf welcher sich der Stra lenkegel in der Netzhaut konzentrirt. Von dieser Faser geht die Indu tion zu der entsprechenden Akkommodation aller Organe, also auch d Linse aus. Nun ist klar, dass die Form- und Dichtigkeitsänderung d Linse, worin diese Akkommodation besteht, also der von dem normal Ruhezustande abweichende Spannungszustand nur dann mit ein gewissen Stabilität oder Ruhe aufrecht erhalten werden kann, we der Reiz nicht von einer isolirten Nervenfaser, sondern von einer gen genden Menge benachbarter Fasern ausgeht, sodass die Kraf von welcher die Linse gezwungen wird, ihre normale Beschaffenheit verlassen, hinreichend stark ist und sich in angemessener Weise übe den Linsenkörper verbreitet. Um die letztere Aufgabe zu e füllen und den halbflüssigen Linsenkörper, dessen Moleküle radial un zirkular verschieblich sind, in einer gewissen Form- und Dichtigkeit veränderung fest zu erhalten, ist namentlich nöthig, dass derselbe nic in einer einzelnen Kraftrichtung, sondern in mehreren gegenei ander geneigten Kraftrichtungen durchdrungen werde.

Diese Bedingung erfüllt ein gegebener leuchtender Körper, wenn in eine entsprechend kleine Entfernung gebracht wird, von wo er e hinreichend grosses Netzhautbild erzeugt. Bei hinreichend weit Entfernung erfüllt er diese Bedingung nicht, es entsteht also ein Spa nungszustand, an welchem sich die Schwierigkeit der Aufrechterhaltun durch Vibrationen und Erzitterungen verräth.

Die Vibrationen der Massenelemente, welche in Form- und Dichtig keitsveränderungen bestehen, erzeugen einen Lichtflimmer um da Objekt herum. Derselbe wird in einer gewissen, von der Intensitä des leuchtenden Körpers abhängigen Entfernung am stärksten sein un bei zunehmender Entfernung sich immer mehr der Wahrnehmung en ziehen. Dieser Flimmer ist in unaufhörlicher zitternder Bewegung Die Linse hat, wie schon in §. 4 erwähnt ist, nicht bloss eine scha lige, sondern auch eine radiale Struktur: in gewisser Hinsich kann sie also auch als ein Aggregat von keilförmigen Elemente angesehen werden, welche zwischen je zwei benachbarten Meridionalebene liegen. In Folge jener Vibrationen werden diese Keile oder dreiseitige Prismen periodisch ihre Dichtigkeit in der Weise ändern, dass vo zwei benachbarten bald das eine, bald das andere entweder in seine ganzen Ausdehnung oder auch nur partiell das dichtere ist. Diess ha aber nothwendig zur Folge, dass jeder Lichtstrahl, welcher nicht in eine Meridionalebene liegt, sondern diese Ebenen und demgemäss di fraglichen Prismen schräg durchschneidet, in die prismati schen Farben zerlegt wird. Hierdurch erhalten die flimmernde Lichthöfe in Fig. 314 bis 316 und 322 bis 324 die Eigenschaft de Irisirens.

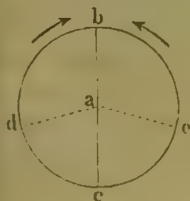
Lichthöfe dieser Art erzeugen sich zuweilen um nahe Kerzenflamme in einem reizbaren Auge beim Aufstehen in der Nacht in Folge der durch

den Schlaf und die anhaltende Dunkelheit veranlassten Schwierigkeit, sich plötzlich auf das helle Licht zu akkommodiren. Diese Höfe zeigen häufig konzentrische Farbensäume, ähnlich den durch die Atmosphäre verursachten Regenbögen und Mondhöfen. Der Grund dieser konzentrischen Farbenzerstreuung kann nur darin liegen, dass die Schalen der Linse sich in konzentrisch abnormen Dichtigkeitsverhältnissen befinden, welche sich bei fehlerhafter Akkommodation umso leichter werden erzeugen können, als jede Schale eine ungleichmässige Wanddicke, nämlich in der Axe der Linse die schwächste und nach dem Rande hin die stärkste hat, sodass die inneren Schalen sich immer mehr der Kugelgestalt nähern. Bei richtiger Akkommodation wird nun mit der sich ändernden Krümmung der vorderen und hinteren Linsenfläche jede Schale ihre Krümmung und Dicke nach einem bestimmten Gesetze ändern müssen. Eine unrichtige Akkommodation kann aber zur Folge haben, dass dieses Gesetz nicht gehörig zur Ausführung kömmt, dass sich vielmehr die einzelnen Schalen von der Mitte gegen den Rand hin entweder zu stark oder zu schwach verdichten, was nicht bloss Zerstreuungskreise, sondern auch konzentrische Farbendispersion zur Folge haben muss.

Wenn sich die Dichtigkeit der Linse an irgend einer Stelle ändert, wird sich daselbst auch die Wölbung derselben etwas ändern und zwar werden sich beide gleichzeitig verstärken oder verschwächen. Diese Formveränderungen werden die Effekte der Dichtigkeitsveränderungen unterstützen, um flimmernde Lichthöfe zu erzeugen.

Die Veränderungen in der Substanz der Linse brauchen übrigens nicht immer in Vibrationen zu bestehen; offenbar kann auch in Folge des sich verändernden Lichtreizes die Dichtigkeit und Wölbung an einer gewissen Stelle, namentlich in einem gewissen Radius oder Sektor eine längere Zeit hindurch wachsen. Gleichzeitig muss dann offenbar die Dichtigkeit und Wölbung in einem oder in mehreren anderen Sektoren abnehmen. Eine solche Veränderung würde einer zirkular vor sich gehenden Bewegung der Massenelemente der Linse entsprechen, wie sie auch der ganzen Natur dieses Organs konveniren dürfte. Drängten sich z. B. nach Fig. 352 die Elemente in der Richtung der Pfeile zusammen; so würde in dem Radius ab die Verdichtung wachsen: gleichzeitig könnte dann in dem Radius ac oder auch in den beiden Radien ad und ae Verdünnung stattfinden.

Fig. 352.



Auf diesem Vorgange scheint mir die merkwürdige Bewegung zu beruhen, welche sich häufig in den Strahlen des Lichthofes zeigt, welcher sich bildet, wenn die Sonne an den Rändern von Gegenständen vorbei, z. B. durch das Laub der Bäume scheint, während das Auge in einem schwach erhellten Raume, also in keiner starken Gesammtspannung sich befindet. Die Strahlen des Lichthofes bestehen dann aus lauter kleinen Linienstücken (Fig. 353 a. f. S.). Diese feinen Lichtelemente bewegen sich, getrennt nach Sektoren, eine geraume Zeit hindurch gruppenweise nach aussen und gruppenweise nach innen. Je nach den Umständen nehmen die Sektoren, in welchen die eine und die andere

Bewegung stattfindet, eine verschiedene Lage an und gelegentlich kehrt sich die Bewegung in demselben Sektor um.

Fig. 353.

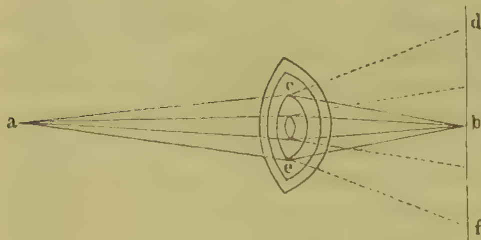


Es scheint unzweifelhaft zu sein, dass diese Bewegung die Folge der in dem einen Sektor vorschreitenden Verdichtung und stärkeren Wölbung ist, während in anderen Sektoren Verdünnung und abnehmende Wölbung stattfindet.

Die Schalen, aus welchen die Linse besteht, haben eine verschiedene, nämlich in der Mitte eine grössere Dichtigkeit, als an den Aussenflächen. Wenn ein Lichtstrahl aus einem Medium in ein anderes Medium von verschiedener Dichtigkeit übergeht; so wird nicht die gesammte Lichtmenge dieses Strahles übergeführt, sondern neben der Brechung des einen Theiles wird ein anderer Theil von der Grenzfläche der beiden Medien reflektirt. Die Reflexion findet unter einem dem Einfallswinkel gleichen, auf der entgegengesetzten Seite der Normalen liegenden Winkel statt und der reflektirte Theil des Strahles wächst in dem Maasse, wie der Einfallswinkel sich verkleinert.

Hiernach werden diejenigen von dem Punkte *a* (Fig. 354) ausgehenden Strahlen *ac*, *ae*, welche irgend eine Schale *ce* der Linse nahe am Rande treffen, einen Theil ihres Lichtes auf der Netzhaut bei *b* in dem Bilde des Punktes *a* durch Brechung konzentriren, einen nicht unbedeutenden Theil derselben aber auf der Fläche *ce* reflektiren. Diese reflektirten Theile dringen in den Richtungen *cd*, *ef* durch die Linse nach der Netzhaut und bilden ebenfalls einen Hof *df* um das Bild *b* herum, welcher bei *b* am stärksten ist und nach aussen hin schwächer wird.

Fig. 354.



Je allmählicher die Dichtigkeit der Schichten der Linse sich ändert, also je vollkommener dieselbe akkommodirt ist, desto unbedeutender wird der fragliche Hof sein. Man kann aber annehmen, dass mit der Unvollkommenheit der Akkommodation auch jene Allmählichkeit sich verliert, indem alsdann die Herrschaft der Nerven sich nicht mit gehöriger Kraft über die ganze Masse der Linse verbreitet, und dass alsdann der Lichthof grösser und intensiver wird.

Je stärker dieser Hof *df*, desto schwächer ist die scheinbare Helligkeit des Okjektes *b* selbst, da das reflektirte Licht, welches den Hof bildet, dem Strahlenkegel, welcher das Netzhautbild erzeugt, entzogen wird.

2. Der Pupillenrand als zweite und hauptsächliche Ursache der Lichthöfe. Ausser der vorstehenden, in der Linse liegenden Ursache, kann aber auch der Rand der Regenbogenhaut, an welchem

sich die Lichtstrahlen beugen und reflektiren, vermöge der Interferenz Veranlassung zu Lichtscheinen und Lichthöfen geben. Solche Höfe werden in Folge der mit der Interferenz verbundenen Farbendispersion irisiren und in Folge der zuckenden Bewegung der Regenbogenhaut auch in flimmernder Bewegung sein.

Da die Pupille nicht immer kreisrund ist und vermöge ihres Bewegungsapparates an gewissen Stellen sich schärfer krümmt; so werden sich in solchen Lichthöfen häufig radiale Linien auszeichnen und diese Linien werden Neigung zeigen zu oszilliren. Die Verbindung des Bewegungsapparates der Regenbogenhaut mit dem des übrigen Auges, namentlich aber der Durchgang der interferirenden Strahlen durch die Linse wird bewirken, dass jene Radien mit den Hauptrichtungen der Sternenstrahlen in einer nahen Beziehung stehen.

Ich habe die Überzeugung, dass jede der vorstehenden beiden Ursachen bei den irisirenden zitternden Lichthöfen thätig ist und dass bald die eine, bald die andere vorherrscht. Folgender Versuch ist geeignet, die Wirksamkeit dieser beiden Ursachen näher herauszustellen.

3. Bestätigende Erscheinungen beim Blicke durch ein feines Loch. Blickt man durch das feine Loch eines Nadelstiches in die Sonne; so erhält man, wenn sich das Loch genau in der Mitte der Pupille befindet, keinen strahlenden und irisirenden Lichthof: das kleine Sonnenbild ist nur bis zur Weite des hell erscheinenden Loches von hellem Lichtscheine umgeben, welcher die Eigenschaft des Strahlens und des Irisirens nur in unbedeutendem Grade besitzt und theils auf innerer Zerstreuung der Lichtstrahlen, theils auf der Lichtwirkung der Ränder des Loches oder auf der Diffusion der das Loch ausfüllenden Luftmasse, d. h. auf Beugung beruhen mag.

Sobald man das Loch verrückt und zwar so weit, dass der Umfang desselben in die Gesichtslinie des Sonnenrandes fällt; so entsteht ein glänzendes Phänomen von irisirenden und flimmernden Strahlen. Dieses Phänomen hat seinen Mittelpunkt nicht im Mittelpunkte des Loches, auch nicht im Mittelpunkte des Sonnenbildes, auch nicht in der Berührungsstelle des Randes des Loches, sondern nach Fig. 355 in einiger Entfernung ausserhalb des Loches im Radius der Berührungsstelle bei n.

Fig. 355.



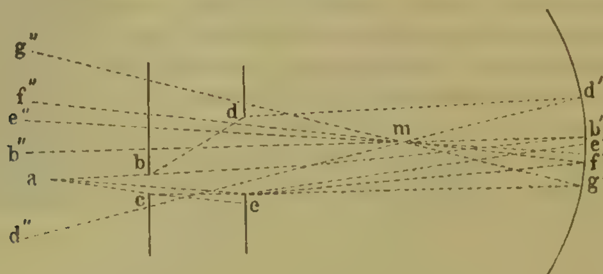
Ausser diesem Lichthofe entsteht aber noch ein kräftiger nicht irisirender Lichtstrahl, welcher von dem Sonnenbilde in der Richtung des eben gedachten Radius gegen den Mittelpunkt des Hofes vordringt, indem er am Rande des Loches am stärksten ist und sich mit zunehmendem Abstande immer mehr zuspitzt.

Die irisirenden Strahlen, welche den Lichthof um n bilden, erscheinen besonders

vor der dunklen Wand des durchlochten Papiers sehr lebhaft, während sie vor dem hellen Loche selbst weniger stark hervortreten. Das Phänomen erfordert, um recht glänzend zu werden, ein feines Loch nicht in weissem, durchscheinendem Papiere, sondern in dunkler Pappe.

Diese Erscheinung erklärt sich mit Hülfe der Fig. 356 folgendermaassen. *a* ist ein leuchtender Punkt, *b c* ein feines Loch, *d e* die Pupille,

Fig. 356.



m der Mittelpunkt des Auges und *d' f'* die Netzhaut. Nach §. 31, Fig. 208 ist *b d d'* und *c e e'* der vom Rande des Loches kommende Diffusionsstrahl, welcher das Netzhautbild *d' e'* des Loches begrenzt, und indem man von *d'* und *e'* durch den Mittelpunkt *m* die Linien *d' m d''*, *e' m e''* zieht, sind *d''*, *e''* die Grenzen der scheinbaren Form des Loches, sodass nämlich die obere Kante *b* des Loches in Verbindung mit der oberen Kante *d* der Pupille die untere Kante des hellen Kreises giebt, in welcher wir das Loch erblicken; wogegen die unteren Kanten *c*, *e* jener Ränder die obere Kante *e''* der Erscheinung erzeugen.

Was nun die vom leuchtenden Punkte *a* ausgehenden direkten Lichtstrahlen betrifft; so sei das Loch so tief gestellt, dass der untere Rand *e* der Pupille in den Strahlenkegel *a b c* falle. Alsdann tritt der oberste Strahl *a b* dieses Kegels ungehindert in die Pupille ein, bricht sich nach *b'* und erscheint bei *b''*. Der unterste Strahl *a c* jenes Körpers fällt auf die Regenbogenhaut und gelangt nicht mehr ins Auge. Der tiefste in das Auge eintretende Strahl ist vielmehr der Strahl *a e*, welcher den Rand der Pupille streift, sich nach *f'* bricht und bei *f''* erscheint.

Offenbar liegt der Punkt *b'* über *e'*, der Punkt *f'* dagegen unter *e'*, weil die beiden Strahlen *c e e'* und *a e f'* sich nothwendig in *e* kreuzen müssen. Hiernach liegt aber *b''* unter *e''* und *f''* über *e''*, d. h. der leuchtende Punkt *a* erscheint uns als Strahl, welcher innerhalb des Loches bei *b''* beginnt und sich radial über die Grenze des Loches hinaus bis *f''* erstreckt. Dieser Strahl spitzt sich nach aussen hin immer mehr zu oder verliert an Stärke, weil die Strahlen des Kegels *a b c*, welche in das Auge gelangen, vermöge der Rundung der Pupille umso weniger zahlreich sind, je tiefer man in diesem Kegel von *b* nach *c* herabsteigt.

In Folge der Beugung des an dem Pupillenrande *e* diffundirten Lichtes entstehen Strahlen wie *e g'*, welche unterhalb *f'* die Netzhaut treffen und durch Interferenz den bekannten Wechsel von Hell und Dunkel in radialer Richtung, sowie auch wegen der ungleichen Wellen-

länge der verschiedenen Farben eine Dispersion hervorbringen. Diese Dispersion erscheint bei der Feinheit der Strahlen und der feinen Sägenform des Pupillenrandes als Irisirung, und die Beweglichkeit der Regenbogenhaut verleiht dem ganzen Phänomen die Eigenthümlichkeit des Flimmerns.

Da der unterste Strahl $a e f'$ des Strahlenkegels, welcher noch in die Pupille tritt, indem er ihren Rand streift, der oberste der gebeugten ist; so ist klar, dass der Mittelpunkt des irisirenden Hofes in f'', also ausserhalb des Loches liegen muss.

Die irisirenden Strahlen verbreiten sich übrigens von dem Mittelpunkte f'', wo sie zugleich am intensivsten sind, nicht bloss nach aussen, sondern auch nach innen, gegen das Loch hin bis an den Rand e'' dieses Loches. Hieraus folgt, dass nicht bloss von e aus interferirende Strahlen nach unten, sondern auch nach oben gehen. Letzteres ist selbstverständlich, da, wenn der Punkt e diffundirt, die Diffusion nach allen Richtungen geht. Sichtbar kann die relativ schwache Wirkung dieser Interferenz aber immer nur auf dem dunklen Theile der Netzhaut, also ausserhalb des Loches sein.

Zu den nach oben diffundirten Strahlen gesellen sich noch die an dem Pupillenrande e reflektirten Strahlen, welche, wenn dieser Rand rundlich ist, ebenfalls interferiren müssen und deren Wirkung wir weiter unten in No. 6 einer näheren Betrachtung unterziehen wollen.

Wenn man das Loch bc so hoch stellt, dass kein von a kommender Strahl den Pupillenrand treffen kann; so verschwindet der auf Beugung am Pupillenrande beruhende exzentrische und lebhaft farbige Hof. Stellt man das Loch so tief, dass alle von a kommenden direkten Strahlen auf die Iris fallen; so verschwindet jener Hof ebenfalls. Es giebt also eine gewisse Entfernung des Loches von der Sehaxe, in welcher der exzentrische Farbenhof am ausgebildetsten ist, wovon man sich durch Verstellung des Loches leicht überzeugt.

Da der irisirende Hof auf der beschriebenen Stellung des Pupillenrandes e gegen das Loch bc beruht; so bringt eine Hebung des Auges dieselbe Wirkung hervor, wie eine Senkung des Loches.

Je näher das Loch bc dem Auge ist, desto grösser ist das helle Bild $d'e'$ dieses Loches, welches der Öffnung de der Pupille entspricht, und desto weiter rückt der Mittelpunkt f' des glänzendsten exzentrischen Hofes von der Augenaxe hinweg. Je weiter man das Loch vom Auge entfernt, desto kleiner wird sein Bild und desto näher rückt der Punkt f' an dieses Bild heran, desto mehr verliert sich also die Exzentrizität des Hofes. Bei genügender Entfernung des Loches scheint dieser Hof also seinen Mittelpunkt in dem selbst als Punkt sich darstellenden Loche zu haben.

Eine kleine Öffnung in einer undurchsichtigen Wand, durch welche Licht dringt, erscheint stets mit einem grossen hofförmigen Lichtscheine umgeben, welcher der vorstehenden Ursache seine Entstehung verdankt.

Nach Vorstehendem unterliegt es keinem Zweifel, dass die Beugung des Lichtes an den Rändern der Pupille lebhafte Erscheinungen hervorruft. Der soeben beschriebene exzentrische und schön irisi-

rende Lichthof verdankt seine Entstehung der Beugung der direkten Strahlen, welche von dem leuchtenden Punkte *a* auf den Pupillenrand fallen. Dieser Hof erscheint umso deutlicher, je dunkler der Theil der Netzhaut ist, auf welchen er fällt.

Ist das Auge ganz frei, wie beim ungehinderten Blicke in die Sonne; so erscheint dieser Hof als ein Strahlenschein. Die Farbendispersion tritt alsdann in der grossen Helligkeit zurück. Bewegt man das Auge, sodass das Sonnenbild nicht genau in der Axe bleibt; so markiren sich einseitige starke Strahlen, weil alsdann die Beugung an einer Stelle des Pupillenrandes stärker wird.

Von diesem Strahlenhofe der Sonne muss man den hellen, nicht strahlenden Schein unterscheiden, welcher vermöge der Diffusion der Luft das Sonnenbild umgiebt und besonders bei Nebel deutlicher hervortritt.

Wie schon früher bemerkt, ist das direkte Licht der Sonne für das menschliche Auge zu stark und verursacht Blendung. Der Strahlenhof kann weit eher ertragen werden. Demnach erscheint bei heiterem Himmel das Sonnenbild dunkler als der Strahlenhof. Nur wenn das Sonnenlicht durch atmosphärische Dünste gedämpft wird, erscheint das Sonnenlicht heller als der Hof.

Übrigens bringt auch der Strahlenhof der Sonne beim längeren Anblicke Blendung hervor (sodass nicht bloss vom Sonnenbilde, sondern auch von dem Strahlenscheine ein Nachbild entsteht und die Fähigkeit der Netzhaut, deutlich zu sehen, auch im Bereiche jenes Scheines beeinträchtigt wird).

Auch um gewöhnliche Lichter, Kerzen, Lampenkuppeln u. s. w. lagern sich Lichtscheine auf den dunklen Hintergrund, welche die vorstehende Entstehung haben, wenngleich in diesen Höfen wegen der geringen Intensität des leuchtenden Körpers die Strahlenform weniger deutlich erkennbar ist. Steht das Licht zu nahe; so ist die starke Divergenz der Strahlen den Beugungserscheinungen ungünstig: ist dasselbe zu entfernt; so ist seine Intensität zu schwach: demnach wird sich der Schein um eine solche Flamme in einer gewissen Entfernung am vollständigsten entwickeln.

Vertauscht man das obige Loch mit der geraden Kante eines undurchsichtigen Körpers, welcher also die Netzhaut mit einem geradlinig abgegrenzten Bilde bedeckt; so bleibt von dem obigen Hofe nur eine Hälfte sichtbar. Betrachtet man also über die Kante eines Körpers hinweg einen leuchtenden Punkt, z. B. die Sonne; so scheinen sich an dieser Kante Strahlen vor dem dunklen Körper zu brechen und sich hofförmig vor demselben auszubreiten.

Bei dem Blicke durch das obige Loch *bc* bewirken allerdings die direkten Strahlen *ae* des leuchtenden Körpers, welche den Pupillenrand treffen, die lebhaftesten Beugungs- und Interferenzerscheinungen: allein die an den Rändern des Loches *bc* gebeugten Strahlen *bd*, *ce* rufen doch ebenfalls, indem sie an den Rändern *d*, *e* der Pupille zum zweiten Male gebeugt werden, ähnliche, wenngleich schwächere Erscheinungen hervor. Die letzteren Erscheinungen liefern ebenfalls Strahlenscheine; sie unterscheiden sich aber von den früheren dadurch, dass sie

nicht exzentrisch sind, sondern von dem Umfange des Bildes $d'e'$ des Loches de radial auslaufen. Ist das Loch dem Auge nahe; so ist der exzentrische Hof am stärksten, der zentrische aber am schwächsten, weil die Strahlen ce, bd alsdann zu stark gebeugt werden müssen. In grosser Entfernung des Loches treten jedoch die im Loche bc gebeugten Strahlen immer mehr an die Stelle der direkten und der zentrische Hof waltet vor.

Der zentrische Hof ist es allein, welcher stattfindet, wenn das Loch bc in der Sehaxe steht und so klein ist, dass ein direkter Strahl gar nicht an den Rand der Pupille gelangen kann.

Endlich ist klar, dass auch die am Rande des Loches bc gebeugten Strahlen interferiren und eine Farbendispersion innerhalb des hellen Bildes $d'e'$ des Loches hervorbringen müssen, welche jedoch nur eine schwache Erscheinung hervorrufen können. Liegen übrigens viele feinen Löcher nebeneinander, sodass die gebeugten Strahlen der Löcher auf den dunklen Zwischenraum treffen, blickt man also durch ein enges Maschenwerk, z. B. durch ein Stück Leinwand in die Sonne; so zeigt sich ein irisirender Strahlenhof, dessen Mittelpunkt in der Augenaxe liegt, welcher aber nicht flimmert, sondern feststeht, da die interferirenden Strahlen nicht von den beweglichen Rändern der Pupille, sondern von den festen Rändern der Maschen ausgehen.

4. Beweglichkeit der Lichthöfe. Der exzentrische, irisirende Hof hat die verhältnissmässig geringste Beweglichkeit: dieselbe entspringt aus den Bewegungen der Iris und ist mit Veränderungen der Grösse des hellen Kreisbildes des Loches bc verbunden. Diese Bewegung charakterisirt sich als ein unregelmässiges, intermittirendes Zucken.

Der zentrische Strahlenhof zeigt die lebhafteste Bewegung seiner Elemente. Diess erkennt man, wenn man das Loch bc, durch welches die Sonne blickt, weiter vom Auge entfernt. Die Beweglichkeit bleibt jetzt auch dann noch, wiewohl schwächer bestehen, wenn man gegen das Loch bc durch ein anderes feines Loch blickt, welches dem Auge nahe ist, sodass nun direkte Strahlen durchaus nicht, sondern nur indirekte auf den Puppillenrand gelangen können.

Hieraus geht die Betheiligung der Linse (und des Glaskörpers) an der Erzeugung der Höfe hervor.

Das durch feste Maschen erzeugte Beugungsphänomen könnte nun zwar wegen der Beweglichkeit der Linse Bewegung zeigen: wenn diess gleichwohl nicht der Fall ist; so folgt daraus nur, dass die Beweglichkeit der Linse nicht so erheblich ist, um das Bild eines äusseren Objektes (und jede Maschenkante ist hier Objekt) in seiner Totalität zum starken oder erkennbaren Schwanken zu bringen. Diess liegt auch in der Natur der Sache, da der Hauptstrahl eines eindringenden Strahlenkegels durch jene Beweglichkeit nicht erheblich alterirt, überhaupt ein solcher Kegel in seiner Totalwirkung nicht wesentlich verändert werden kann. Bei den Zersplitterungen durch Reflexion an den Schalen der Linse oder durch Refraktion in den keilförmigen Elementen der Linse handelt es sich immer um erhebliche Ablenkungen einzelner Theile eines Strahlenbündels aus der Hauptrichtung, und diese zersplitterten Theile können nur

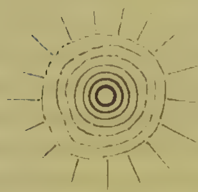
dann ein deutliches und selbstständiges Phänomen hervorbringen, wenn der leuchtende Körper sehr intensiv ist, sodass die abgelenkten Theile selbst hinreichend kräftig sind, während doch gleichzeitig die Netzhaut vor der direkten Wirkung des leuchtenden Körpers geschützt ist, sodass die zersplitterten Theile vornehmlich zur Wirkung kommen.

Was die Art der Bewegung der Strahlenhöfe betrifft; so ist schon weiter oben in No. 1 der eigenthümlichen radialen Bewegung der Lichtelemente gedacht, welche sich durch eine sehr allmähliche Verwandlung auszeichnet. Da diese Lichtelemente, welche sich radial bewegen, immer in Gruppen diese Bewegung machen und eine solche Gruppe ein wellenförmiges Ganze bildet, welches sich nahezu konzentrisch um den Mittelpunkt lagert; so liegt in dieser radialen Bewegung zugleich eine konzentrische Absonderung, wie sie auch sehr natürlich ist.

Unter gewissen Umständen tritt die konzentrische Absonderung schärfer hervor; es bilden sich dann zusammenhängende konzentrische Linien, welche in Beziehung zum Mittelpunkte, also radial hinundher schwanken.

Blikt man durch ein nahe vor das Auge gehaltenes sehr feines Loch in die helle Sonne, sodass der Pupillenrand nicht wesntlich mitwirken kann; so zeigt sich die Öffnung des Loches von irisirenden radial liegenden Lichtelementen bedeckt, welche nur der Linse (und dem Glaskörper) ihre Entstehung verdanken können. Im Zentrum dieser Figur erscheint ein kleines Sonnenbild. Dasselbe ist von einer schwarzen Linie eingefasst, Fig. 357. Hierauf folgt ein konzentrischer heller Ring, dann wieder eine dunkle Linie. So wechseln helle und dunkle Ringe. Allmählich nehmen die hellen Ringe eine mehr wellenförmige Figur an, theilen sich in Stücke und lösen sich zuletzt in radial stehende Lichtelemente auf.

Fig. 357.



In diesen Ringen, welche in grösserer Entfernung vom Zentrum wellenförmige Ringstücke und zuletzt wellenförmig gruppirte Radialelemente werden, herrscht eine schwankende Bewegung in radialer Richtung oder nach innen und aussen. Diese Bewegung ist nahe am Zentrum immer schwach und wächst mit der Entfernung von diesem Punkte, sodass sie in dem Abstande der Radialelemente meistens sehr lebhaft ist.

Je mehr die Randpartie der Linse, bei weit geöffneter Pupille, zur Wirkung kommen kann, desto weiter schiebt sich die Region der ringförmig im Zusammenhange bleibenden Lichtlinien hinaus, desto grösser wird dann auch die schwankende Bewegung dieser Ringe. So zeigt die Sonne, wenn sie nahe vor dem Untergange, in Folge des Wasserdunstes der Luft sehr gross erscheint (was nach §. 45 auf einer Wirkung der Ränder der Linse beruht), ein wellenförmiges Wallen an ihrem Umfange, welches sich in grösserer Entfernung vermöge der Auflösung dieser Wellen zu einem radialen Strahlenschiessen gestaltet.

5. Einfluss der Beugung an dem Pupillenrade auf die Erscheinung kleiner Objekte. Alle diese Erscheinungen erklären sich nach dem Früheren leicht in folgender Weise. Die Beugung am Pupil-

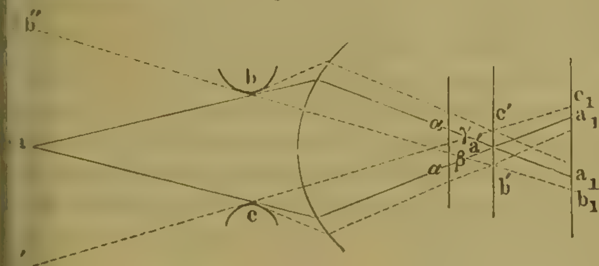
ınrande und die daraus entspringende Interferenz bewirkt, dass jeder unkt oder jedes kleine Objekt von konzentrischen Licht- und Schattenngen umgeben ist. Die Form dieser Ringe ist da, wo die sie erzeugenın Strahlen durch die Zentralpartie der Linse gehen, am regelmässigen: nach aussen hin, wo die Randpartie der Linse wirksam wird, trennen sich und lösen sich zuletzt in Radialelemente auf.

So erscheint das Sonnenbild und erscheint auch jede Kerzenammme von Licht- und Schattenlinien umzogen, welche sich allmählich einen Strahlenschein verwandeln. (Die Parallelbilder, welche cht wie die eben in Rede stehenden Erscheinungen konzentrische Umillungslinien, also gewissermaassen vergrösserte Objekte über demseln Mittelpunkte, sondern Seitenbilder mit verrücktem Mittelpunkte rstellen, welche sich also theilweise überdecken und in allmählicher tensitäts- und Grössenabnahme neben einer Wachskerze zeigen, sind rigens das Resultat der Vervielfältigung, welche nach § 54 durch Absonderung des Linsenkörpers in Sektoren erzeugt wird, vergl. 57.)

Die Bewegung in diesen Ringen und Scheinen rührt nicht von der pille, sondern von den Dichtigkeitsveränderungen der Linse her. ist am Zentrum am schwächsten und nimmt nach aussen hin zu, unliegt aber nur sanften Übergängen, wogegen alle von der Iris herımmenden Änderungen sich durch ihre Plötzlichkeit kennzeichnen.

6. **Wirkungen der Reflexion am Pupillenrande.** Was speziell Wirkung des an dem Pupillenrande reflektirten Lichtes betrifft; ergiebt sich dieselbe aus Folgendem. Wäre dieser Rand bc (Fig. 358) die Oberfläche eines um die Augenaxe beschriebenen Zylinders, sodass alle Durchschnitte mit den Meridionalebenen gerade Linien bildeten; so würden die von dem leuchtenden Punkte a gegen diesen Rand treffenden Strahlen ab so reflektirt werden, wie nn sie von dem Punkte b'' ausgingen. Hierdurch würde sich also um Punkt a ein äusserer Lichtring $b''c''$ erzeugen.

Fig. 358.



Hierbei ist vorausgesetzt, dass die Strahlenbündel in oder vor der tzhaut konzentriren, dass also das Auge entweder richtig oder zu nahe den Punkt a akkommodirt ist, sodass die Netzhaut bei a' oder bei $a_1 a_1$ nt, wie es sich bei einem ziemlich entfernten Punkte ereignet. Wäre Auge zu weit akkommodirt, läge also der leuchtende Punkt a dem ge zu nahe, sodass die Netzhaut in $\alpha\alpha$ stände; so würden die reflekten Strahlen einen innerhalb der Zerstreuungsfigur $\alpha\alpha$ des Punktes iegenden Kreis $\beta\gamma$ bilden.

Der Pupillenrand ist nun in der Richtung der Axe nicht eben, dern abgerundet und zwar sehr scharf abgerundet. An einer kon-

vexen Fläche reflektiren die von einem Punkte ausgehenden Strahlen al nicht, wie wenn sie von einem einzigen Punkte ausgingen, vielmehr wie wenn sie von den verschiedenen Punkten einer Linie herkämen. D eben erwähnte einfache Ring $b'' c''$ erweitert sich also zu einer konzent schen Lichtfläche oder zu einem Lichtscheine, in welchem sich imm einzelne Kreise, welche den am besten reflektirenden Punkten der F chen b, c entsprechen, markiren werden.

Ist das leuchtende Objekt kein Punkt, sondern ein ausgedehntes (jekt; so werden sich die letzteren Kreise, welche sich um jeden Punkt Objektes bilden, zu Lichtsäumen vereinigen, welche namentlich an d Grenzen des Objektes auf dem dunkleren Hintergrunde und vorzu weise längs der längsten Grenzlinien des Objektes hervortreten. V diesen Säumen wird auch mehr der Umriss, als die Fläche, vermöge Kontrastes mit dem Hintergrunde sichtbar werden.

Bei der Reflexion an einer runden Fläche interferiren auch Strahlen. Die durch Reflexion entstehenden Umrisse müssen also abwe selnd aus Licht- und Schattenlinien bestehen, welche bei genügen Intensität auch Farbendispersion zeigen müssen.

Die Beugung am Pupillenrande b erzeugt Strahlen, welche auf den reflektirten Strahlen entgegensetzten Seite des tangirenden Str les $a\,b$ liegen. Diese Strahlen sind in der Figur nur punktirt, ohne Buchstaben bezeichnet zu sein.

Vermöge der Reflexion wird also ein sehr entferntes Objekt äusseren und ein sehr nahes Objekt mit inneren Licht- und Schatte nien umzogen. Vermöge der Beugung dagegen wird ein sehr entfernt Objekt mit inneren und ein sehr nahes mit äusseren Licht- und Sch tenlinien umzogen.

Bei sehr entfernten Objekten, namentlich bei leuchtenden Punk oder kleinen Flammen, welche als Sterne oder doch in die Sternfi übergehend erscheinen, werden meistens nur die äusseren Linien von Eff sein: hier wird also die Reflexion wichtiger sein, als die Beugung.

Bei sehr nahen Objekten, namentlich bei sehr nahen leuchten Punkten, welche als helle Pupillenscheiben erscheinen, wird sowohl Wirkung der Reflexion, wie die der Beugung deutlich hervortreten müss Wegen der starken Divergenz der von einem so nahen Punkte kommen Strahlen können jedoch die Beugungsringe keine grosse Ausdehnu behalten.

Um im letzteren Falle die Erscheinung zu der nöthigen Schärfe bringen, bedarf es eines sehr nahen, möglichst feinen, aber doch intensi Punktes. Reflexpunkte, welche sich an den scharfen Ecken abgebroche Glasstücke zeigen, wenn die Sonne darauf scheint, eigenen sich sehr hierzu. (Man wird dieselben beobachten, ohne den Sonnenstrahlen den rekten Eintritt ins Auge zu gestatten). Die helle Scheibe, in welcher solcher Punkt erscheint, wenn er ganz nahe vor das Auge gebracht wi hat das Aussehen von Fig. 359. Nach innen wechseln die durch Reflexi entstehenden Licht- und Schattenringe. Nach aussen erzeugt die Be gung einen Lichtstreifen, welcher sich wie ein strahlender Schein allm lich verliert.

Bei weniger intensiv leuchtenden Punkten, z. B. bei dem Bli

rch ein feines Loch gegen den Himmel erscheint die Scheibe nach
ʒ. 360. Die hellen, durch Reflexion entstehenden inneren Ringe vermelzen sich zu einem helleren konzentrischen Streifen.

Fig. 359.



Fig. 360.

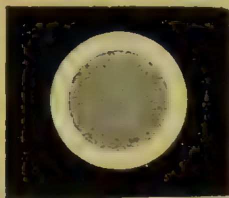


Fig. 361.



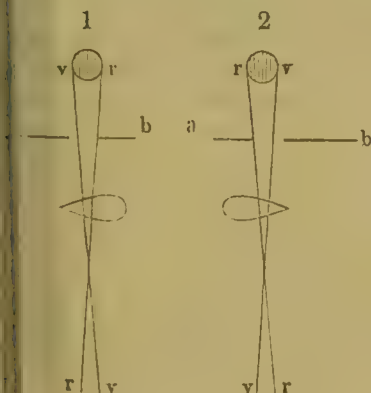
Wenn man im ersteren Falle die Pupillenöffnung verändert, indem
n z. B. durch Blinzeln den Rand eines Augenlides und mehrere
mperhaare vor die Pupille bringt, legen sich die Licht- und Schatteneen nach Fig. 361 um alle Grenzen dieser Kö̈rper, welche die Strahlen
reflektiren vermögen.

Ich mache bei dieser Gelegenheit darauf aufmerksam, dass es wichtig
dieselbe Erscheinung unter möglichst verschiedenen Verhältnissen der
tensität, der Entfernung, der Grösse, der Form und der
rbe zu beobachten, weil manche Phänomene durch den Wechsel dieser
hältnisse, obgleich sie prinzipiell dasselbe System von Strahlen darstel-
, doch durch den veränderten Effekt ihrer elementaren Bestandtheile,
ch die grössere oder geringere Deutlichkeit, durch Verschwimmung,
rdeckung oder Isolirung, durch mehr oder minder energischen Kon-
t, durch das Hervortreten gewisser spezifischen Formen und Farben
gl. einen ganz anderen physiologischen Eindruck machen und in Folge
er Abwechslung die Einsicht in das ihnen zu Grunde liegende Prinzip
entlich fördern, sobald man den Zusammenhang zwischen diesem
hsel und den äusseren Veränderungen erkannt hat.

7. Verfärbung kleiner Objekte. In Beziehung auf Farbendis-
sion haben wir hier noch folgender Erscheinung zu gedenken.

Die leuchtende Scheibe, als welche uns eine Flamme, durch ein feines
h gesehen, erscheint, ist nur dann gleichmässig gefärbt, wenn das Loch genau vor der Mitte der Pupille steht. Verrückt man Letzteres nach rechts, links, oben, unten oder sonst wie; so erzeugen sich an jener Scheibe Farbensäume und zwar dergestalt, dass der Scheibenrand, welcher der Augenaxe am nächsten liegt, roth, der diametral gegenüberliegende dagegen violet erscheint.

Fig. 362.



Diese Erscheinung erklärt sich in derselben Weise, wie das in §. 47 und 6 beschriebene Phänomen der Farbensäume an einem hellen Streifen, wenn man dem Auge eine dunkle Kante nähert. Fig. 362 stellt unter (1) den Fall der Verrückung

des Loches nach innen (oder nach der Nase) und unter (2) den Fall d… Verrückung nach aussen dar. Der Rand des Loches in dem Blatte *a*, welcher der Augenaxe am nächsten liegt, vertritt die Kante des dunkl… Körpers in §. 47, Fig. 262, und Diess hat vermöge der entstehenden Ve… zerrung der Linse die Farbendispersion zur Folge, welche in den Figur… mit den Buchstaben *r* (roth) und *v* (violet) angedeutet ist.

§. 56.

Irradiation und Lichtsäume.

1. Wesen der Irradiation und der Lichtsäume. Man beobacht… dass helle Flächen, welche von dunklen scharf begrenzt sind, grösser e… scheinen, als ihrem Sehwinkel entsprechen würde, während umgekeh… dunkle Flächen, welche von hellen scharf begrenzt sind, kleiner e… scheinen.

So erscheint z. B. in Fig. 363 der untere weisse Streifen breiter a… der darüber liegende schwarze, obgleich beide gleich breit sind. Eben…

Fig. 363.

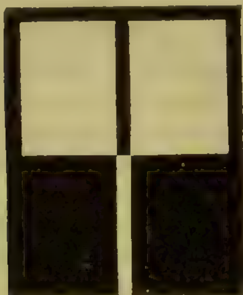
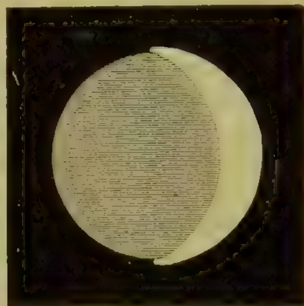


Fig. 364.



scheint am Himmel die Mondsichel (Fig. 364) zu einer grösseren Schei… zu gehören, als der dunkle Theil des Mondes, welcher durch das refle… tirte Erdlicht häufig so weit erleuchtet ist, dass man ihn in der Sichel e… kennen kann.

Diese Erscheinung hat man mit dem Namen der Irradiation b… legt. Früher nahm man allgemein an, sie entspringe aus einem Übe… greifen des Lichteindruckes auf der Netzhaut. In neuerer Zeit ist d… Ansicht ausgesprochen, jene Erscheinung verdanke ihre Entstehung au… schliesslich einer mangelhaften Akkommodation des Auges. Manch… Physiologen hegen die erste, manche die zweite und manche eine Ansich… welche beide Erklärungsgründe in der Weise verbindet, dass der Irradi… tion zwei getrennte Ursachen untergelegt werden, eine objektive, welch… die sogenannte physikalische Irradiation bedingen und auf unvol… kommener Akkommodation, also auf Zerstreuungskreisen beruhe… soll, und eine subjektive, welche die sogenannte physiologisch… Irradiation bedingen und wie die Kontrasterscheinungen auf eine… besonderen Affektion der Netzhaut, wodurch die hellen Flächen ei… Übergewicht über die dunklen erlangen, beruhen soll.

Ich halte alle diese Ansichten für irrig und behaupte, dass die Irra-tion nichts Anderes ist, als das in den vorhergehenden Paragraphen chriebene Strahlenphänomen in dem Zustande schwacher Entwick-g, also ein Phänomen, welches durch die Struktur der Linse be-gt ist und durch falsche Akkommodation des Auges erhöht den kann.

Es leuchtet ein, dass ein eigentlicher Strahlenstern nur durch ein htendes oder helles Objekt von gewisser Kleinheit erzeugt werden n. Auf die Gestalt desselben kömmt wenig an; es ist gleichgültig, ob selbe rund, eckig, kreuz-, ring- oder sichelförmig sei, wofern nur keine nension desselben eine gewisse Grösse überschreitet, oder genauer, ern dasselbe nur in eine solche Entfernung gebracht ist, dass der winkel seiner grössten Dimension unter ein gewisses Maass herabsinkt. diesem Falle kann das Objekt sogar eine leuchtende Linie sein.

Ist nun das Objekt grösser; so erzeugt jeder seiner Punkte en Stern: allein dieser Stern ist aus den im vorhergehenden Para-phen erläuterten Gründen nicht so vollkommen entwickelt, seine Strah-sind nicht so lang, wie von einem isolirten Punkte, und indem sich diese Sterne stetig aneinanderreihen, erzeugen sie ein Gesammt-, welches nicht mehr die Figur eines Sternes, sondern die Figur des jektes, umgeben von Lichtsäumen, hat.

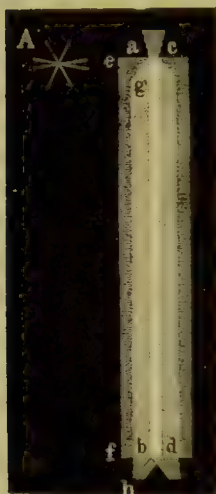
Schon in Fig. 340 haben wir ein Beispiel hierzu in den Lichtsäumen Mondes gegeben. Andere Beispiele, wo diese Säume deutlich hervor-en, sind sehr zahlreich und können leicht durch Kartenblätter, in che man Figuren einschneidet oder aus welchen man Figuren bildet, dieselben gegen eine helle Lampenkuppel oder gegen eine helle Fen-scheibe zu kleben, dargestellt werden.

Wenn man sich die hellen Umrisse mit Sternen besetzt kt, deren Arme parallel stehen, und dabei beachtet, dass h diese Sterne an denjenigen Stellen immer vollkomme-entwickeln, wo die Dimension der hellen Figuren sich kleinern, also namentlich in den ausspringenden hellen ken, ferner da, wo die Helligkeit der Figur grösser ist, l dass sich an einem Sterne vornehmlich diejenigen ahlen am vollkommensten entwickeln, welche in der htung der kleinsten Dimension der hellen Figur an der lle dieses Sternes liegen, und nach auswärts gerichtet d, während die gegen die helle Fläche gerichteten Strahlen h nur schwach oder gar nicht entwickeln, dass auch bei wachen Helligkeitsunterschieden die Strahlen der oberen ne, sowie jedes Paar der fast horizontal seitwäts ausge-eckten Strahlen nahezu wie ein einfacher Strahl wirken; wird man im Stande sein, schon im Voraus die fraglichen htsäume zu konstruiren.

2. Erläuternde Versuche. Beispielweise sei in Fig. 365 (a. f. S.) dc ein schmaler vertikaler leuchtender Schlitz. Von den Sternen A, che man in stetiger Folge an der Linie ab entlang setzt, werden sich nehmlich die horizontalen Strahlen, alsdann die schräg nach unten ge-

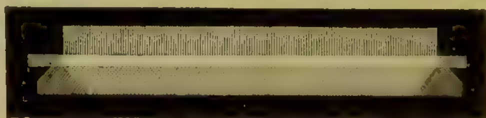
henden, am schwächsten die obersten entwickeln. Hieraus wird also ein dop-pelter **Lichtsaum** entstehen. Der breiteste *aefb* bildet ein Rechteck un ist durch die horizontalen Strahlen bedingt; der schma lere *aghb* bildet ein Parallelogramm und ist durc die schräg links nach unten gehenden Strahlen beding In ähnlicher Weise bilden sich die Säume an de rechten Seite des Schlitzes. Oben tritt vermöge de Strahlenkronen der Sterne ein vertikaler Lichtschei aus dem Streifen längs der Linie *ac* heraus. Unte strahlt die Seite *bd* nach rechts und links abwärt zwei Strahlen wie *bh* aus, welche sich an die Säum *bhga* anlegen.

Fig. 365.



An einem **horizontalen** Schlitze (Fig. 366) bilde sich oben ein einfacher und unten ein doppelter Lich-saum. Ausserdem tritt rechts und links ein horizontaler Saum in de Breite des Streifens heraus.

Fig. 366.

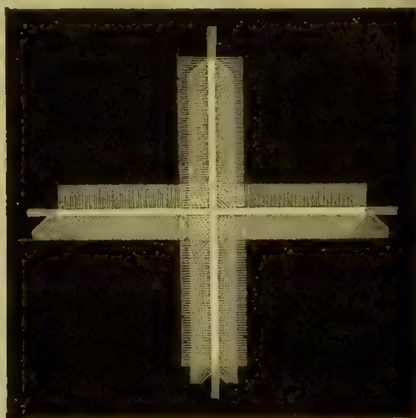


An dem schrägen Schlitze bilden sich die Säume nach Fig. 367.

Fig. 367.



Fig. 368.



Wenn sich von einem hellen Schlitze ein anderer abzweigt; so durch-dringen sich hier die einem jeden Zweige angehörigen Säume. So stell z. B. Fig. 368 die an einem leuchtenden Kreuze sich bildenden Säume da

Wenn die Breite des Schlitzes erheblich grösser, der Schlitz also z einem leuchtenden Rechtecke wird; so bilden sich die Säume nach Fig. 369

Fig. 370 und 371 stellen die Säume von leuchtenden Dreiecken da

In der Gestalt von Fig. 372 sehen wir zwei Schenkel dieses Dreiecke häufig als den hellen Winkel, welcher sich zwischen einer vertikale Thurmmauer und einer anstossenden schrägen Dachfläche bildet, in de Gestalt von Fig. 373 dagegen als den hellen Winkel zwischen einer ver

alen Hauswand und einem überhängenden Dachrande. An einer vertien Fläche mit horizontalem Vorsprunge bilden sich die Säume wie in ι oberen Ecken der Fig. 369.

Die Säume des leuchtenden Kreises sind in Fig. 340 dargestellt.

Fig 369.

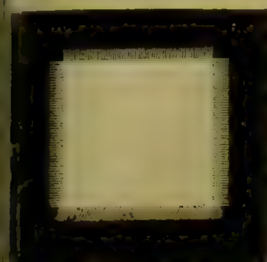


Fig. 370.

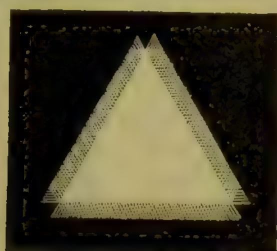


Fig. 371.

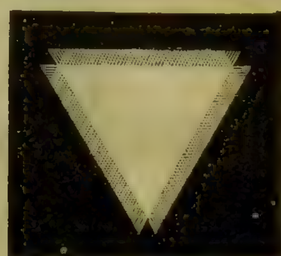


Fig. 372.

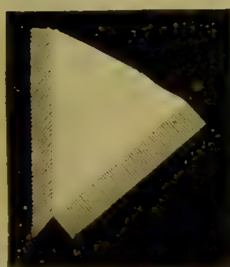
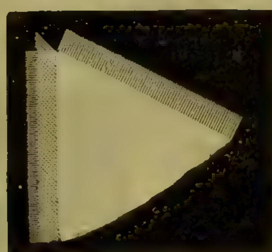


Fig. 373.



Wenn die eigentliche Figur, um die es sich handelt, dunkel l die Umgebung leuchtend ist; so können in der Regel nur ıme entstehen, welche rings um die Figur laufen und sich an den Ecken erschneiden, während sie bei der leuchtenden Figur an den ken sich trennen.

So stellt Fig. 374 ein von hellem Lichte umgebenes dunkles Rechteck, . 375 ein Dreieck, Fig. 376 einen Kreis dar.

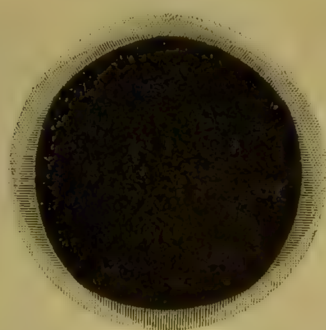
Fig. 374.



Fig. 375.



Fig. 376.



Aus den hellen Figuren auf dunklem Grunde und den dunklen Figuauf hellem Grunde setzen sich alle möglichen Gestalten zusammen. . 377, 378, 379 (a. f. S.) sind einige geradlinige und Fig. 380 die talt der Mondsichel. Fig. 381 stellt die Lichtsäume an einer Fen-

stersäule dar, in deren Hintergrunde sich Baumzweige befinden, welche die leuchtende Umgebung unterbrechen.

Fig. 377.



Fig. 378.

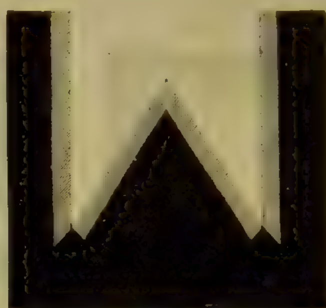


Fig. 379.



Fig. 380.



Fig. 381.



3. **Das Beschneiden der Luft.** Die Verminderung der Dimensionen der in freier Luft stehenden Gegenstände durch die Lichtsäume, welche die Helligkeit des zum Hintergrunde dienenden Himmels hervorbringt, ist eine Erscheinung, welche man das Beschneiden der Luft nennt.

So bildet sich z. B. an der frei stehenden Säule eines Säulenganges, in welchem sich der Beschauer befindet, an dem Säulenschafte nach Fig. 382 ein Lichtsaum, welcher oft in der Augenhöhe oder etwas höher am stärksten ist, sowohl nach unten wegen der daselbst sich vermindernden Helligkeit, als auch nach oben wegen der Beschattung durch die Decke und das Gesims abnimmt. Diese Erscheinung rechtfertigt die an den griechischen Säulen vorkommende krummlinige Anschwellung (Enthasis) nach Fig. 383, welche vermöge der Lichtsäume dem Schafte das Ansehen einer geradlinigen Verjüngung verleiht. Fig. 384 stellt diese Säule dar, wenn ihr unterer Theil einen schattigen Hintergrund hat.

Die Ecke eines Hauses, welche sich nach unten vermöge der Umge-
ıng allmählich in tieferen Schatten senkt, während sie oben am stärksten


Fig. 382.


Fig. 383.


Fig. 384.

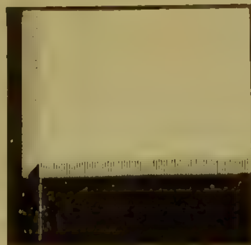
euchtet ist, scheint nach Fig. 385 nach innen aus dem Lothe gewichen
sein.

Selbstverständlich ist es für die Bildung der Lichtsäume, namentlich
den Ecken nicht gleichgültig, ob die Linien, an welchen sich die
ıme entlang ziehen, in einer Ebene liegen oder nicht. So bildet sich

Fig. 386.


Fig. 385.


Fig. 387.


Fig. 388.


die Ecke zwischen einer vertikalen und horizontalen Kante nach Fig. 386 (a. vor. S.), wenn beide in einer Ebene liegen, nach Fig. 387, wenn die vertikale Kante entfernter liegt, und nach Fig. 388, wenn sie näher liegt, als die horizontale.

Fig. 389.



Endlich stellt Fig. 389 eine der Formen dar, in welcher uns ein Gitterwerk erscheint.

4. Gewöhnlicher Effekt der Irradiation. Die allgemeine oder gewöhnliche Wirkung der Lichtsäume, welche von dem Hellen auf das Dunkle übergreifen, besteht nach Vorstehendem stets in einer Erweiterung der hellen und Schmälerung der dunklen Flächen.

Je geringer die Lichtstärke der hellen Flächen ist, desto schwächer sind die Lichtsäume. Wenn der ganze Helligkeitskontrast nur durch verschiedene Färbung derselben Fläche, z. B. durch weisse und schwarze Stellen einer Papierfläche hervorgebracht wird, werden die Lichtsäume in ihrer Breite nicht mehr deutlich wahrnehmbar. Gleichwohl bestehen sie und bringen den obigen Effekt hervor. Namentlich besteht die in §. 53 No. 14 erwähnte, dem Strahlungsphänomene angehörige Erscheinung fort, dass das Bild jedes Lichtpunktes, auch wenn derselbe keinen Stern erzeugt, doch eine helle Scheibe von gewissem Durchmesser ist.

Diese geringen Grade der Strahlung oder der Lichtsäume sind es, welche man gewöhnlich mit dem Namen der Irradiation belegt. Man sieht, dass die Irradiation dem Wesen nach mit jenen Erscheinungen identisch ist und dass zu ihrer Hervorbringung weder eine besondere Thätigkeit der Netzhaut, noch eine in Beziehung auf die Sehweite unrichtige Akkommodation des Auges in Anspruch genommen wird, dass dieselbe vielmehr auf der besonderen Struktur der Linse und auf dem Umstande beruht, dass der Lichtreiz nicht stark und ausgebreitet genug ist, um den ganzen Linsenkörper wie eine homogene Masse der gegebenen Lichtwirkung anzupassen.

Die Ausdehnung der hellen Flächen auf Kosten der dunklen in Folge der Irradiation ist, wie leicht zu erachten, keine proportionale Vergrösserung und Verkleinerung jener Flächen, sondern eine Erweiterung und Einziehung der Umfangslinien, welche nur von dem Helligkeitsunterschiede, nicht aber von der Gesammtgrösse der Flächen abhängig ist.

§. 57.

Irradiation dunkler Körper. — Schattensäume. — Verstärkung der Irradiation.

1. **Verstärkung der Irradiation.** Dasselbe Mittel, welches nach 53 No. 10 dazu beiträgt, den Strahlenstern zu vergrössern, muss elbstverständlich auch die Wirkung haben, die Irradiation zu verstärken. Dieses Mittel besteht in der Akkommodation des Auges auf ine unrichtige Sehweite.

Bei einem hellen Strahlensterne konnte zu vorstehendem Zwecke im llgemeinen nur eine Akkommodation auf eine zu kleine Entfernung in etracht kommen, weil die leuchtenden Objekte, welche Strahlensterne hiessen, in der Regel schon so weit entfernt sind und auf so dunklem intergrunde liegen, dass man eine Akkommodation des Auges auf eine rössere Entfernung nicht leicht zu Stande bringen kann (§. 30 No. 1 nd §. 54 No. 4). Im Übrigen erzeugt nach §. 53 No. 9 und 12 auch die kkommodation auf zu grosse Entfernung, wo sie sich bewerkstelligen sst, ebenfalls eine Verstärkung und zugleich eine Umkehrung des trahlenphänomens.

2. **Irradiation und Strahlung dunkler Körper.** Durch Akkomodation auf zu grosse Nähe, welche im Ganzen die wirksamere ist, erwandelt sich ein dunkler Punkt sogar in einen dunklen Strahlenern, mindestens aber in einen Kranz von dunklen Punkten mit nem dunklen Mittelpunkte.

Die Akkommodation auf zu grosse Weite wirkt schwächer; sie verwanelt einen dunklen Punkt höchstens in einen Kranz von Punkten. Diese lsche Akkommodation lässt sich dadurch hervorbringen, dass man n dem Objekte vorbei auf einen entfernteren Gegenstand blickt, noch ichter aber dadurch, dass man das Objekt nahe vor das Auge hält nd dasselbe alsdann zu fixiren sucht, eine Fixirung, welche nicht lingen kann, weil das Auge nicht fähig ist, sich so nahe zu akkommoren.

Betrachten wir zunächst dunkle Körper unter gewöhnlichen Verhältssen, d. h. mit einem matt erhellten Hintergrunde, welcher keine Sternstrahlen oder Lichtsäume erzeugt.

Die einfachsten und zugleich diejenigen Fälle, wo sich die Ausstrahng der dunklen Körper am deutlichsten zeigt, sind bereits in §. 53 unter o. 11 und 12 erwähnt; es sind diejenigen, bei welchen sich das Objekt uf einen Punkt oder überhaupt auf eine Fläche reduzirt, deren Dimenonen sämmtlich sehr klein sind.

Die aus einem Punkte bei Akkommodation auf sehr viel geringere Entfernung entstehenden Strahlensterne Fig. 333 bis 336 oder e bei weniger unrichtiger Akkommodation dieser Art entstehenden ränze (Fig. 337, 338), sowie die bei Akkommodation auf grössere ntfernung entstehenden Kränze, welche die diametral umgekehrte Lage

von (5) und (6) haben, bilden immer die Grundlage der Formveränderungen, welche Objekte von grösseren Dimensionen durch dieselben Ursachen erleiden, und nach den Erläuterungen des vorhergehenden Paragraphen wird man leicht im Stande sein, diese Veränderungen zu konstruiren. Dieselben bestehen hier wie dort in Erweiterungen der Umrisse der dunklen Körper fast genau in derselben Weise, in welcher sich dort die Lichtsäume bildeten. Man hat bei dieser Konstruktion nur zu beachten, dass während der Strahlenstern leicht die fünfstrahlige Grundfigur (1) Fig. 390 annimmt, der Schattenkranz sich leichter nach der sechsseitigen Figur (2), (3) ausbildet, welche sich von der ersteren darin unterscheidet, dass die beiden Arme der Krone dort einander sich mehr nähern und hier sich mehr von einander entfernen.

Fig. 390.



3. **Schattensäume.** Verwandelt man also z. B. den hellen Schlitz *abcd* in Fig. 365, 366, 367, 368 in einen dunklen Streifen; so erzeugen sich sowohl durch die Akkommodation auf zu grosse Nähe, wie auch auf zu grosse Weite Schattensäume, welche über den Umfang des Streifens in die hellere Umgebung hinaus treten und fast genau die Form der Lichtsäume des dortigen hellen Streifens haben.

Hiernach können wir über die Konstruktion dieser Schattensäume für verschieden geformte Objekte hinweggehen.

4. **Zusammenwirkung der Licht- und Schattensäume.** Wir haben soeben einen dunklen Körper auf einem so matt erleuchteten Hintergrunde vorausgesetzt, dass dieser Hintergrund selbst keine Lichtsäume erzeugt. In der Wirklichkeit findet diese Voraussetzung nur näherungsweise statt. Die hellere Umgebung erzeugt immer, wenn auch nur schwache Lichtsäume.

Während nun die Schattensäume aus dem dunklen Theile einer Figur unseres Gesichtsfeldes in den angrenzenden hellen hinübertreten, so treten die Lichtsäume aus dem hellen in den dunklen hinüber. Die Gesammtwirkung dieser beiden Phänomene besteht nun aber keineswegs darin, den Effekt der Strahlung und der Irradiation zu vermindern oder gar aufzuheben. Denn drücken wir, um die Vorstellungen zu erleichtern, die Lichtstärke der beiden sich begrenzenden Objekte durch Zahlen aus, und sagen wir, das helle Objekt habe die Lichtstärke 100 und das dunkle die Lichtstärke 0. Wenn sich ein Schattensaum auf das helle Objekt legt; so wird er die Lichtstärke desselben vermindern, aber nicht vernichten, da er selbst durchsichtig oder durchscheinend bleibt: sänke also auch die Lichtstärke hier auf 30 herab; so bleibt der Saum doch immer noch ziemlich hell. Andererseits erhellt der Lichtsaum, welcher sich auf

len dunklen Streifen legt, denselben an dieser Stelle so, dass seine Helligeit daselbst vielleicht auf 70 steigt, erzeugt also einen hellen Saum.

Auf diese Weise wird also die ganz dunkle Fläche entschieden chmaler, und wenngleich die ganz helle Fläche ebenfalls verschmälert vird; so legt sich doch zwischen die ganz helle und ganz dunkle Fläche in Doppelstreifen, welcher im Vergleich zu der ganz dunklen Fläche hell st, sodass, wenn man von den verschiedenen Graden dieser Helligkeit bsieht, die helle Fläche um so viel verbreitert ist, als die dunkle verchmälert ist.

Hierzu kömmt noch als etwas Wesentliches, dass der auf die dunkle läche sich legende Lichtsaum immer breiter und intensiver ist, ls der auf die helle Fläche sich legende Schattensaum.

Die Gleichzeitigkeit der Licht- und Schattensäume erklärt hiernach uch zur Genüge die mit der Akkommodation auf eine unrichtige Sehweite erbundene Erscheinung, dass sich die hinaustretenden dunklen Ränler von der Hauptfigur durch helle Streifen absondern und dass ich in diesen dunklen, wie in den hellen Säumen Helligkeitsunterchiede bilden, welche denselben zuweilen das Aussehen der Verwaschung eben, welche aber nur auf dem partiellen Übereinanderfallen der urch die einzelnen Strahlen oder Punkte des Stern- oder Kranzphänoens gebildeten hellen und dunklen Säume beruht.

So nimmt z. B. der dunkle Streifen *abcd* bei der Akkommodation auf zu grosse Nähe die in Fig. 391 dargestellten Licht- und Schattensäume an, und diese Säume entsprechen auch nahezu der Akkommodation auf zu grosse Weite, also dem Falle, wo man diesen Streifen aus einer viel kleineren, als die Entfernung des deutlichen Sehens zu fixiren sucht.

Fig. 391.



5. Was schon in §. 54 erwähnt ist, wird hier nochmals hervorgehoben, dass Nichts so sehr, als die Irradiation der dunklen Körper oder das Heraustreten der Schattensäume gegen die Ansicht spricht, dass die Irradiation in dem Übergreifen des etzhautbildes in Folge des auf der Netzhaut hervorgebrachten Lichtreizes eruhe.

6. Vervielfältigung schmaler Objekte durch Irradiation. chliesslich müssen wir folgender hierher gehörigen Erscheinung erwähnen.

Wenn das Objekt, sei es hell oder dunkel, nicht in allen seinen Thein breite Dimensionen besitzt, sondern allenthalben sehr schmal ist, so gewissermaassen nur einen Linienzug darstellt; so trennen sich i der Akkommodation des Auges auf eine erheblich falsche Sehweite e Bilder, welche jeder Strahlenarm oder Punkt in der entsprechenden ern- oder Kranzfigur bildet, vollständig von einander und das Objekt scheint vervielfältigt.

So erblicken wir z. B. eine dunkle Nähnadel, auf welche wir das uge zu nahe akkommodiren, nach Fig. 392 (a. f. S.) vervielfältigt. In verkaler Stellung fallen die den beiden Punkten *a*, *c*, sowie die den beiden unkten *f*, *d* angehörigen Bilder aufeinander: neben den übrigen matte-

ren Bildern sehen wir daher zwei kräftige. In horizontaler Stellung, wo die Bilder von *a*, *f*, die von *b*, *g*, *e* und die von *c*, *d* sich decken, sieht man drei kräftige Bilder, wovon das mittelste das kräftigste ist. In einer angemessen geneigten Stellung, wo sich keine zwei Bilder decken, sieht man alle sieben Bilder getrennt und matt. Bei der Akkommodation auf zu grosse Weite, also auch bei der Fixirung der Nadel aus zu geringer Sehweite trennen sich meistens alle Bilder vollständiger, indem die Sternfigur alsdann nicht völlig regelmässig ausfällt; es zeichnet sich also, wie im letzten Falle kein Bild besonders aus.

Eine in freier Luft stehende Stange *a* (Fig. 393) erscheint aus einiger Entfernung und besonders, wenn das Auge durch Anstrengung oder Reiz angegriffen oder zu nahe akkommodirt ist, doppelt wie *b*. Ebenso erscheint eine Ritze *a* (Fig. 394) in einem dunklen Winkel, durch welche das Tageslicht blickt, als Doppelritze *b*.

Fig. 392.

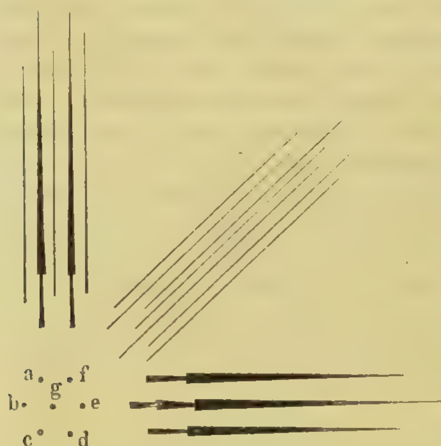
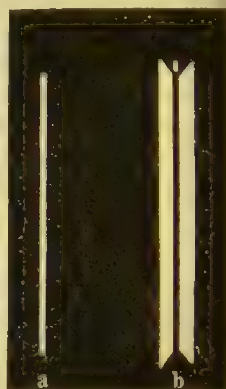


Fig. 393.



Fig. 394.



Die schmale leuchtende Mondsichel erscheint uns bei der Akkommodation des Auges auf zu grosse Nähe nach Fig. 395, eine helle Kreislinie, nach Fig. 396, der helle Umfang eines Dreieckes nach Fig. 397 und eines Quadrates nach Fig. 398. Ganz ähnlich erscheinen dem zu nahe akkommodirten Auge diese Figuren, wenn sie dunkle Linien auf hellem Grunde darstellen.

Es ist beachtenswerth, dass dieses Vielfachsehen auch beim Blicke mit einem Auge stattfindet. Bei der Beobachtung thut man wohl, das andere Auge nicht zuzudrücken, sondern zu verdecken.

Fig. 395.



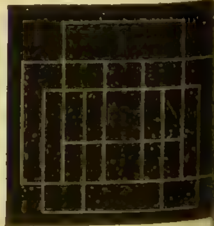
Fig. 396.



Fig. 397.



Fig. 398.



7. Übergänge zwischen den getrennten Bildern. Die Trennung der einzelnen Bilder eines *schmalen* Körpers oder auch der Ränder jedes anderen Körpers bei ungenügender Akkommodation des Auges ist nur eine Folge der Ungleichheit, womit die einzelnen Partien der Linse die Lichtstrahlen konzentriren. In Wahrheit besteht zwischen diesen einzelnen *kräftigeren* Bildern ein stetiger Uebergang durch *weniger intensive* Bilder, welche sich nur wegen ihrer geringen Lichtstärke der Wahrnehmung entziehen.

Alle diese schwachen und starken Bilder eines *hinreichend schmalen* Körpers, sowie die *auf Zerstreuung beruhenden Ränder* eines grösseren Körpers sind *durchsichtig*, weil jeder Punkt im Raume Gelegenheit findet, trotz jenes schmalen Körpers oder Randes Lichtstrahlen in die Pupille zu senden, d. h. *sichtbar zu werden.*

Bei Körpern, welche *ganz nahe* vor das Auge gehalten werden, erzeugen sich diese Zerstreuungsbilder *immer*, gleichviel ob man entferntere oder diese Körper selbst zu fixiren sucht, weil das Auge die Fähigkeit nicht besitzt, sich auf so kurze Sehweiten zu akkommodiren, also für einen derartigen Körper immer *zu weit* akkommodirt ist.

Eine dicht vor das Auge gehaltene Nadel ist daher *niemals scharf* zu sehen; sie erscheint stets als ein breiter *durchsichtiger* Streifen, verdeckt also niemals entferntere Objekte, sodass dieselben unsichtbar würden (abgesehen von den Wirkungen des *Wettstreites* nach §. 13 No. 5).

8. Vervielfältigung der Umrisse des Objektes. Wenn das Objekt kein schmaler Körper ist; so trennen sich die in Nr. 6 erwähnten Hauptbilder nicht vollständig voneinander, sondern *decken sich theilweise.* Das Objekt erscheint alsdann als ein Vielfaches von Bildern, welche nur wenig *übereinander verschoben* sind, oder als ein Objekt mit *vervielfältigten Umrissen.* So fallen z. B. diejenigen Bilder der in Fig. 392 dargestellten Nadel, welche nur in der Längenrichtung verschoben erscheinen, theilweise aufeinander.

Besonders markiren sich bei einem *schlanken* Körper diejenigen Doppelbilder, welche durch die auf die Hauptdimension des Objektes normal stehenden Licht- und Schattensäume entstehen. So erscheint die Spitze eines Kirchthurmes nach Fig. 399. Diese Erscheinung findet selbstverständlich sowohl beim Sehen mit *zwei*, wie auch beim Sehen mit *einem* Auge statt.

Fig. 399.



Durch künstliche Akkommodation auf nähere Entfernung kann man die einzelnen Bilder viel weiter übereinander verschieben.

Das ermüdete oder das trunkene Auge hat, wie schon mehrfach erwähnt, eine nicht gleichmässig gespannte Linse. Die vorstehende Erscheinung der Verdopplung der Umrisse ist daher vor einem solchen Auge effektvoller.

Auch wenn das Auge durch langes Sehen auf sehr kurze Sehweite, z. B. durch Lesen oder Schreiben vor-

übergehend kurzsichtig geworden ist, steigert sich das vorstehende Phänomen.

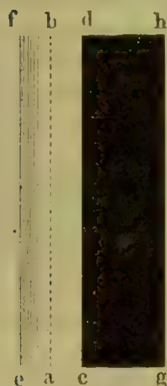
In den beiden letzteren Fällen, also bei langem und angestrengtem Gebrauche auf kurze Sehweiten und im trunkenen Zustande findet übrigens häufig auch eine zu starke Konvergenz der beiden Augenaxen beim Blicke auf entferntere Objekte statt, die Augen schielen einwärts und bewirken alsdann eine Verdopplung der Objekte, welche sich nicht, wie die vorstehende Wirkung der schlaffen Linse, bloss auf die Umrisse beschränkt, sondern die Doppelbilder oft in einem namhaften Abstande verrückt.

Die Beobachtung, dass im trunkenen Zustande die Augen nicht zu schwach, sondern zu stark konvergiren und dass demzufolge induktorisch auch die Pupille nicht zu gross, sondern zu klein wird und die Augenlider sich nicht zu weit öffnen, sondern sich verengen, steht mit der schon in §. 6 No. 5 erwähnten Thatsache in Verbindung, dass auch im Schlafe eine zu starke Axenkonvergenz stattfindet und bestätigt die daselbst ausgesprochene Ansicht, dass wenn gewisse Partien des Nervensystems erschlaffen (wie im Schlafe und im Rausche) nicht nothwendig alle Theile dieses Systems zu erschlaffen brauchen, vielmehr manche sehr wohl zu einer gesteigerten Thätigkeit veranlasst werden können.

9. Verstärkung der Licht- und Schattensäume durch Kontrast. Es ist klar, dass die Strahlenphänome durch den Kontrast zwischen der Zerstreuungsfigur und deren Hintergrunde wesentlich gehoben werden. Die helle Zerstreuungsfigur, sei es ein Stern, ein Lichtsaum oder ein ganzes Zerstreuungsbild des Objektes, wird auf dunklem Grunde und die dunkle Figur auf hellem Grunde umso intensiver und ausgebildeter (grösser) erscheinen. Eine schwache Erscheinung, namentlich eine Schattenfigur, welche bei ungenügend kontrastirendem Hintergrunde gar nicht sichtbar ist, wird durch hinreichenden Kontrast noch wirksam bleiben.

Der Kontrast wird aber ferner bewirken, dass Zerstreuungsfiguren von hinlänglicher Breite nicht eine gleichmässige Helligkeit zeigen, sondern an den Rändern, wo der Kontrast am stärksten wirkt, am intensivsten erscheinen. Ausserdem markirt sich, wie schon früher erwähnt, bei einem durchsichtigen Körper immer die Grenze mehr als der unterschiedslose innere Raum.

Fig. 400.



Demgemäss entstehen auf der Grenze *a b* eines dunklen Körpers *a b h g* (Fig. 400) zwei Säume, ein Lichtsaum *a b d c*, welcher sich auf den dunklen Körper legt, und ein Schattensaum *a b f e*, welcher sich vor den Körper legt. Der Lichtsaum ist lebhafter als der Schattensaum, und zwar ist derselbe am hellsten an der äussersten Kante *c d*, wogegen der Schattensaum an der äussersten Kante *e f* am dunkelsten ist.

Wenn der Schattensaum so schwach ausfällt, dass er nicht wahrgenommen wird; so ist der Haupteffekt

Phänomens Beschneidung oder Verkleinerung des dunklen rpers und Vergrösserung des hellen Körpers. Wenn dagegen der attensaum genügend stark hervortritt; so stellt sich der direkt entgengesetzte Effekt, nämlich Vergrösserung des dunklen und rkleinerung des hellen Körpers ein.

Auf diese Weise kann die Thurmspitze, Fig. 399, je nach der Hellig- der Luft bald geschmälert und stumpfer, bald vergrössert und schlan- erscheinen.

Ebenso erscheint ein Fabrikschornstein nach Fig. 401 bald verdünnt, bald verdickt, jenachdem die innere oder die äussere Kontur am stärksten hervortritt.

Fig. 401.



Im Allgemeinen vernichtet ein zu heller Hintergrund den Schattensaum, sodass alsdann vorzugsweise Beschneidung der dunklen Körper stattfindet. Ein hinreichend matter Hintergrund dagegen erzeugt schwache Lichtsäume und lässt die Schattensäume zur Wirkung kommen, ruft also die scheinbare Vergrösserung der dunklen Körper hervor.

Die einzelnen Theile eines Körpers rufen häufig verschiedene Kontrastwirkungen hervor oder sie sind einer regelmässigen und vollkommenen Entwicklung der Licht- und Schattensäume mehr oder weniger günstig und beeinflussen alsdann in besonderer Weise die Form, in welcher der Körper erscheint.

So wird eine ganz frei in der Luft stehende Säule in sehr heller Luft auf ihrer ganzen Höhe durch die tsäume ziemlich gleichförmig beschnitten. Eine solche Säule bedürfte ner Enthasis (Schwellung), um zylindrisch zu erscheinen.

Fig. 402.



Fig. 403.



Steht die Säule auf dem Erdboden auf, ragt aber sonst in die freie Luft; so ist die Beschneidung oben am stärksten, unten am schwächsten (Fig. 402). Eine solche Säule, wie sie zu monumentalen Zwecken häufig vorkömmt, darf ebenfalls keine Enthasis haben. Dieselbe könnte eher nach oben verdickt werden: allein Diess möchte überflüssig erscheinen, da die Beschneidung nur die perspektivische Verjüngung nach oben hin erhöht, ohne die Geradlinigkeit zu vernichten.

Nur eine freie Säule, welche auf dem Erdboden steht und oben ein Gesims trägt, wird nach Fig. 403 in der Mitte am stärksten beschnitten werden, be- also einer Enthasis, um zylindrisch oder doch geradlinig verjüngt rscheinen.

Ausserdem ist klar, dass die Enthasis einen sehr hellen Hinternd voraussetzt. Demnach kann nur eine frei stehende Säule, keine

Wandsäule (Pilaster) eine Schwellung erhalten, und auch hierfür ist dieselbe nur da motivirt, wo ein frei liegendes Bauwerk in leuchtender Luft gegeben ist, wie sie Griechenland dauernd darbietet. Unser nordischer Himmel verbietet Enthasis an Säulen, welche ein Bauwerk zum Hintergrunde haben, und in inneren Sälen ist die Schwellung der Säulen durchaus naturwidrig.

Auch die sonstige Umgebung beeinflusst die Wirkung. So würde z. B. die mit einer Enthasis versehene Säule, wenn unten im Hintergrund Buschwerk liegt, das Ansehen nach Fig. 404 annehmen.

Fig. 404.

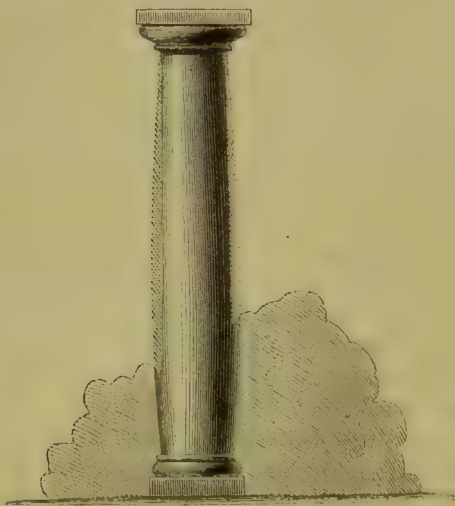
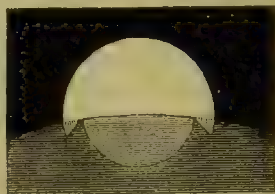


Fig. 405.



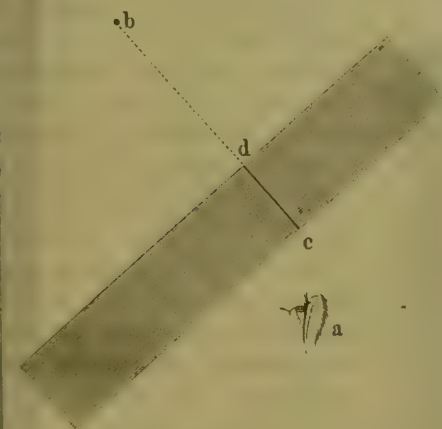
Der durch Wolken streichende Mond zeigt, wenn er von einer durchscheinenden Nebelmasse nur theilweise bedeckt ist, die Gestalt Fig. 405. In den Quadraturen erscheint die Mondsichel immer grösser, als der nicht von der Sonne beleuchtete Theil, welcher durch das reflektirte Erdlicht matt sichtbar ist.

10. Reflexlinien auf den Zerstreuungsbildern. Unter manchen Umständen erzeugen die Zerstreuungsbilder, selbst die schwächsten, kräftige und eigenthümliche Erscheinungen. Diess tritt ein, wenn gewisse Theile derselben intensiv erleuchtet werden.

Wenn z. B. auf eine blanke Metallnadel, welche, dicht vor das Auge gehalten, als der in Fig. 406 dargestellte, kaum sichtbare Schattenstreifen erscheint, der Reflex eines leuchtenden Punktes b fällt; so vereinigen sich alle den einzelnen Bildern der Nadel entsprechenden Reflexpunkte zu einer glänzenden Linie cd. Da für die perspektivisch angedeutete Stellung des Auges bei a jeder Reflexpunkt d in einer auf der Nadel normal stehenden und durch das Auge a und den leuchtenden Punkt b gehenden Ebene liegen muss; so fallen die Reflexpunkte solcher Zerstreuungsbilder der Nadel, welche nur auf Verrückungen in der Richtung des gegebenen Objektes oder auch in den Richtungen der auf das Auge a führenden Radien beruhen, mit den Reflexpunkten der übrigen Bilder

zusammen, welche auf Verrückungen in den Richtungen der von b auslaufenden Linien beruhen.

Fig. 406.



Da ausserdem ein von b auslaufender, an der Nadel oder deren Tangentialebene reflektirter Strahlenkegel bd, insofern die Spiegelfläche glatt genug ist, sodass die Diffusion nicht mitwirkt, ganz genau unter denselben Verhältnissen ins Auge a tritt, wie ein in der Richtung da aus der Entfernung des Punktes b herkommender Strahlenkegel; so wird jeder Reflexpunkt d, wenn man nicht die Nadel, sondern den leuchtenden Punkt b fixirt, als in der Entfernung dieses Punktes liegend erscheinen.

Die Reflexlinie cd wird demnach als ein gerader Lichtstrahl erscheinen, welcher normal auf der Nadel steht und auf den leuchtenden Punkt b gerichtet ist. Fixirt man den leuchtenden Punkt b; so wird dieser Strahl auch in der durch diesen Punkt normal auf die Sehlinie gelegten Ebene zu liegen scheinen.

Eine krumme Nadel erzeugt einen krummen Strahl.

Empfängt ein kugelförmiger Knopf, z. B. ein Nadelknopf, den Reflex eines leuchtenden Punktes; so erweitert sich das Phänomen zu einer glänzenden Scheibe.

Ist die gerade oder krumme Nadel nicht sehr glatt, sondern von einer solchen Oberflächenbeschaffenheit, dass sich vermöge der Reflexion und Diffusion lange Lichtlinien darauf bilden; so vereinigen sich die Linien in den Zerstreuungsbildern zu glänzenden zylindrischen Flächen.

§. 58.

Gefiederte Sterne, Strahlenbüschel und Lichtbärte.

1. Gefiederter Stern. Wenn man im Anblicke eines Strahlensternes (1) Fig. 407 (a.f.S.) bei gerade gehaltenem oder auch etwas gesenktem Kopfe blinzelt, d. h. die Augenlider zusammenkneift; so verändert sich der obere Theil des Sternes nach (2). Die mittleren drei Strahlen schiessen steil in die Höhe, divergiren jedoch etwas, ein jeder bildet einen Kiel von isolirten, etwas schräg nach oben und aussen gekehrten Lichtelementen mit einer pfeilartigen Spitze. An den Seiten besäumt sich diese Partie mit noch schräger nach aussen gerichteten Lichtspitzen, welche eine Wiederholung der obersten Gabelarme der horizontalen Strahlen des normalen Sternes oder auch eine Vervielfältigung der im normalen Sterne zwischen den Hauptstrahlen sich zeigenden Lichtspitzen darstellen. Namentlich ist die Isolirung der Querelemente in den beiden äusseren

Strahlen stärker als in dem mittelsten und in dem äussern Saume wieder erheblicher als in den Strahlen. Ebenso sind die Querelemente in dem äusseren Saume flacher geneigt, als in den Strahlen. Fig. 408 stellt diese Beziehung schematisch deutlicher dar, indem *ab*, *ab* den äusseren Saum, *cd*, *cd* die äusseren Strahlen und *ef* den mittleren Strahl vertritt.

Fig. 407.



Fig. 408.



Zur Unterscheidung von der normalen Gestalt wollen wir der leichteren Bezugnahme wegen eine solche Erscheinung einen gefiederten Stern nennen.

2. Strahlenbüschel. Gleichzeitig entstehen beim Blinzeln in der gedachten Stellung des Kopfes lange Strahlenbüschel, welche aus dem Mittelpunkte des Sternes kommend, in geraden Linien nach unten und vorn schiessen, wie (3) darstellt.

Diese Büschel unterscheiden sich von den gefiederten Strahlen sehr wesentlich. Während diese Strahlen genau der Zahl der korrespondirenden Arme des regelmässigen Strahles entsprechen, ist die Zahl der einfachen Strahlen, welche den Büschel bilden, ziemlich gross. Während jene Strahlen in der Ebene des Sternes liegen, also normal auf der Sehlinie stehen, nehmen die Büschelstrahlen eine Richtung an, welche vom Sterne gegen das Auge und zwar gegen den unteren Theil des Auges oder die Wange läuft, und durch vorgehaltene Gegenstände kann man sich überzeugen, dass diese Büschelstrahlen scheinbar bis nahe vor das Gesicht dringen. Während jene Strahlen aus ziemlich breiten isolirten Elementen bestehen, bilden die letzteren ziemlich feine stetige Linien. Endlich zeigen die Büschelstrahlen eine gewisse Unregelmässigkeit; sie divergiren bald mehr, bald weniger gegeneinander, manche durchkreuzen sich, und wenn man den Kopf seitwärts hinundher bewegt, hüpfen diese Strahlen häufig übereinander hinweg, wogegen die gefiederten Strahlen bei dieser Drehung des Kopfes nur eine schwache relative Bewegung annehmen.

3. Fixirung des Sternes. Wie jeder Punkt eines normalen Sternenarmes und eines gefiederten Strahles, ebenso kann man auch jeden

unkt eines langen und dicht an das Auge herantretenden Büschelstrahles it dem Auge fixiren: derselbe reicht bei diesem Anblicke nicht aus, ie eine entoptische Figur im Auge, sondern steht, wenn man nur die ugenlider ruhig hält, beim Rollen des Auges fest wie ein wirkliches bjekt.

4. Umkehrung des Sternes. Wenn man den Kopf ziemlich hoch npor hält; so kehrt sich das vorstehende Bild um: es verwandeln sich eim Blinzeln die unteren vier Strahlen (2) Fig. 409 in gefiederte rahlen, während sich die oberen nur ein wenig dehnen und die horintalen ganz unverändert bleiben.

Ausserdem schiessen jetzt Büschel nach oben und vorn (3).

Wenn man den Kopf sehr weit nach oben überlegt, zeigt sich die rstehende Erscheinung auch ohne Blinzeln.

Fig. 409.

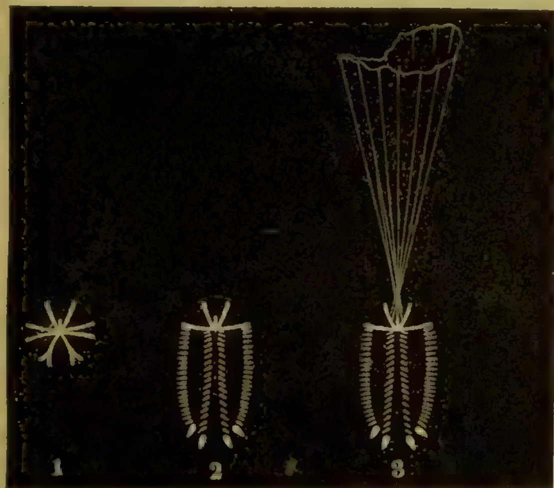


Fig. 410.



5. Verdopplung der Büschel. Bei einer altung des Kopfes, welche eine Zwischenlage rischen der geraden und der zuletzt gedachn hoch erhobenen, also eine wenig erhobene ldet, hat man nach Fig. 410 die Erscheinung wohl der nach oben als auch der nach unten richteten gefiederten Strahlen und rahlenbüschel. In horizontaler Richtung dert sich der Stern auch jetzt nicht.

6. Lichtbärte. Senkt man den Kopf sehr tief (wobei sich die agenbrauen kräuseln und das Augenlid den oberen Pupillenrand verckt), so verschwinden die gefiederten Strahlen und die Büschel. Die rscheinung verwandelt sich alsdann in einen Hof oder Bart von ichtbüscheln nach Fig. 411 (a. f. S.), welcher auch durch Blinzeln cht wesentlich mehr zu ändern ist.

In diesem Barte markiren sich zwei einander schräg durchschneidende auptrichtungen. Beobachtet man nur mit dem rechten Auge; so stellt

sich nach Fig. 412 nur die eine dieser beiden Hauptrichtungen dar, und beobachtet man nun mit dem linken Auge, die andere nach Fig. 413.

Fig. 411.



Fig. 412.



Fig. 413.



7. Zusammendrängung der gefiederten Strahlen bei nahen Objekten. Wenn man dem leuchtenden Körper so nahe ist, dass derselbe sich nicht als Strahlenstern zeigt; so nehmen die gefiederten Strahlen die Gestalt kompakter vertikaler Strahlen von kurzer Länge an. Die Strahlenbüschel behalten ihre obige Richtung und Länge bei.

8. Strahlenbüschel beim Blicke in die Sonne. Je heller der leuchtende Körper ist, desto vollkommener entwickelt sich das Phänomen der Strahlenbüschel; am vollkommensten beim Blicke in die Sonne, indem man die Augenlider angemessen zusammenkneift und womöglich die Strahlen durch eine ihre Intensität etwas vermindernde Substanz gehen oder an Gegenständen vorbeistreifen lässt, welche einen Theil der Sonnenscheibe verdecken.

Ist der Kopf gerade auf die Sonne gerichtet oder etwas gesenkt; so erscheinen die Strahlenbüschel beim Blinzeln nach Fig. 414. Ein kompakter intensiver und ziemlich geradliniger Strahlenbüschel schiesst nach unten und vorn. Ausserdem bilden sich aber bei geradeaus gerichtetem Kopfe zahlreiche isolirte, bogenförmige, nach unten konkav gekrümmte, meistens irisirende Büschelstrahlen, welche sich nach rechts und links wenden und stärker divergiren, sodass sie dem Auge nicht so nahe zu kommen scheinen, als die vorderen Büschel. Bei etwas gehobenem Kopfe gesellen sich zu diesen Seitenbüscheln noch aufwärts gerichtete: der abwärts gekehrte Büschel zertheilt sich ebenfalls und die ganze Erscheinung gewährt den Anblick der Innenfläche eines Strahlentrichters.

Fig. 414.



Fig. 415.



Richtet man den Kopf hoch auf; so kehrt sich nach Fig. 415 der gerade Büschel nach oben und vorn. Die Seitenstrahlen sind alsdann unbedeutend.

9. Lichtsäume und Zerstreuungsbilder bei nahen Objekten. Wenn das leuchtende

ekt so nahe, so gross oder so hell ist, dass dasselbe nicht als Stern heint; so kommen beim Blinzeln auch keine gefiederten Strahlen, sondern an deren Stelle nur verlängerte Lichtsäume zum Vorschein.

Fig. 416.



Wohl aber bilden sich auch in diesem Falle beim Blinzeln die nach vorn schiessenden Strahlenbüschel. Letzteres ist überhaupt beim blinzelnden Blicke auf jeden hellen Körper, z. B. auf die erleuchteten Fenster, der Fall.

Von einer nahen und hellen Flamme erhält man neben den vorstehenden Erscheinungen oftmals die auf Zerstreuungsbildern beruhenden Gestalten vieler in horizontaler Richtung parallel nebeneinander gestellten, sich theilweise bedeckenden und nach den Enden kleiner werdenden Flammen (Fig. 416).

10. Verschwinden der Büschel bei grosser Entfernung. Wenn llntensität des Strahlensternes durch vergrösserte Entfernung auf ein isses Maass herabgesunken ist, erzeugen sich beim Blinzeln nur noch gefiederten Strahlen, nicht aber mehr die Strahlenbüschel.

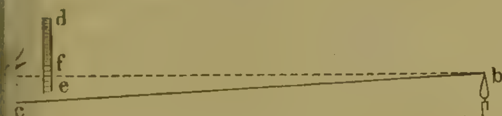
Bei noch tiefer herabsinkender Lichtstärke bleiben auch die Büschel aus.

11. Steigerung des Phänomens durch Thränen im Auge. Thrä- im Auge steigern das Phänomen der gefiederten Strahlen und der chel, indem sie die einzelnen Strahlen vollkommener, länger und glänzen- machen. Häufig fügen sich hierdurch unregelmässige Lichtfiguren in Bild ein.

12. Ausgangspunkt der Büschelstrahlen. Die in Fig. 407 und nach unten laufenden Strahlen gehen immer von den höchsten kten und die in Fig. 409 und 415 nach oben laufenden von den sten Punkten des leuchtenden Objektes aus.

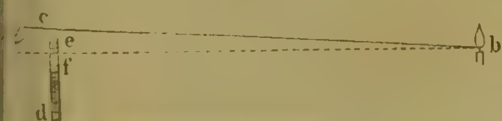
Denn wenn in Fig. 417 *bc* ein Büschel ist, welcher von der Flamme *b* nach vorn und unten geht, und man senkt nahe vor dem Auge *a* einen undurchsichtigen Gegenstand *de* herab; so verschwindet der ganze Büschel in dem Augenblicke, wo der Körper *dc* mit der untersten Kante *e* die Auge *a* nach der obersten Spitze der Flamme führende Sehlinie *ab* erbricht; also in dem Augenblicke, wo man diese Spitze nicht mehr sieht.

Fig. 417.



Ebenso verschwindet nach Fig. 418 der von unten kommende Büschel *bc* in dem Augenblicke, wo der Gegenstand *d* die nach dem untersten Punkte der Flamme führende Sehlinie abschneidet.

Fig. 418.



Ein dicht an das Auge gehaltener Gegenstand *d* erscheint wegen der Zerstreuungskreise (§. 50) niemals scharf begrenzt. Die Kante *e* erscheint also bis auf eine gewisse Höhe *ef* als durchsichtig. Damit die Lichtbüschel *bc* verschwinden, genügt es nun, dass die äusserste Grenzlinie der Zerstreuungskreise, welche noch ganz durchsichtig erscheint, in die Gesichtslinie *ab* hineintrete.

Ist der Gegenstand *de* eine feine Nadel, welche normal auf der Ebene der Figur steht, welche also wie ein allenthalben durchsichtiger Gegenstand erscheint; so ist es interessant, dass die nach unten gehenden Lichtbüschel *bc* (Fig. 419) nur so lange verschwinden, als die unterste Zerstreuungsfigur *e* die nach der Spitze der Flamme *b* führende Gesichtslinie verdeckt. Rückt man die Nadel tiefer, z. B. in die Stellung *d'e'* oder *d''e''*, so erscheinen jene Büschel wieder.

Fig. 419.



Bei den nach oben gehenden Lichtbüscheln ist das Verhältniss umgekehrt.

13. Experimente. Wenn man beim Anblicke der nach unten gehenden Lichtbüschel nach Fig. 420 einen undurchsichtigen Gegenstand *de* von unten herauf vor das Auge schiebt; so bleiben die Büschel so lange sichtbar, bis die obere Kante in die nach der Spitze der Flamme führende Gesichtslinie *fb* tritt. Unter der oberen Kante des Gegenstandes *de* verstehen wir aber den Beginn *f* des vollkommen undurchsichtigen Theiles, über welchen sich der durchsichtige Zerstreuungsrand noch bis *e* erhebt.

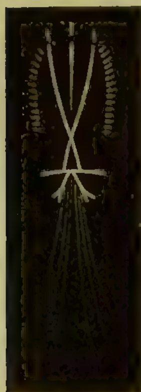
Fig. 420.



Obgleich die dunkle Wand *df* ganz nahe vor dem Auge liegt, sie kann die Augenlider berühren; so behalten doch die Strahlen *bc* ihre scheinbare Richtung, welche tief gegen die Wange zielt, unverändert bei, indem auch die dunkle Wand viel entfernter, nämlich ganz nahe vor der Flamme *b* bei *d'f'* zu liegen scheint.

Je höher sich der Gegenstand *de* hebt, desto glänzender erscheinen die Büschel, namentlich bei Tageslicht, was unzweifelhaft der durch die undurchsichtige Wand erzeugte dunkle Hintergrund veranlasst.

Fig. 421.



14. Besondere Form der gefiederten Sterne. Häufig gehen die Lichtbüschel sogar von einem innerhalb des gefiederten Sterntheiles, also oberhalb des leuchtenden Mittelkernes liegenden Punkte aus.

Zuweilen hebt sich aber auch der gefiederte Sterntheil von dem normal bleibenden ganz ab und bleibt mit letzterem nur durch zwei starke sich kreuzende Strahlen in Verbindung (Fig. 421).

Diese besonderen Erscheinungen hängen von dem augenblicklichen ·stande des Auges, nicht von dem Objekte ab.

15. Länge der Büschelstrahlen. Was die Länge der Büschel- ·ahlen betrifft; so werden dieselben umso länger oder nähern sich dem ·ichte umso mehr, je stärker man die Augenlider zusammenkneift, bis zu ·er gewissen Grenze, welche sie nicht überschreiten können. Bei wei- ·em Zusammenkneifen der Augenlider verkürzen und vermindern sich dann diese Strahlen und ebenso die gefiederten Strahlen, bis sie nahe vor dem völligen Schliessen der Augenlider ganz verschwinden.

Fig. 422.



In diesem Stadium stellen sich nach Fig. 422 zwei normal auf die Sehlinie stehende horizontale Lichtbärte von Bü- ·elstrahlen ein, welche zuweilen irisiren und nach dem Verschwinden ·· vorderen Büschel und der gefiederten Strahlen sich behaupten.

16. Richtung der Büschelstrahlen. Obgleich die nach vorn ge- ·rten Büschelstrahlen keine ganz regelmässigen Fächer bilden; so er- ·nt man doch darin zwei Hauptrichtungen: die eine Partie der ·ahlen ist mehr nach rechts, die andere mehr nach links geneigt und ·se beiden Hauptbündel durchkreuzen sich in oder nahe vor dem leuch- ·den Objekte. Je paralleler die Strahlen des Objektes einfallen, wie der Sonne und den Gestirnen, desto geringer wird diese Divergenz. ·ch bei so nahen Objekten, welche ein sehr starkes Blinzeln erfordern, die Büschel zur Erscheinung zu bringen, ist die Divergenz kleiner.

Die nach vorn und unten gerichteten Büschelstrahlen krümmen sich, ·an sie durch starkes Blinzeln auf das Maximum ihrer Länge gebracht ·den, in den untersten Enden häufig stark nach aussen um. Bei ·· nach vorn und oben gerichteten Büschelstrahlen, welche niemals die ·ge der unteren annehmen, auch stets steiler nach oben, als die ande- nach unten stehen, tritt diese Umbiegung weniger stark auf. Dagegen ·heinen diese Strahlen durch einen zwischen ihnen liegenden Licht- ·immer, welcher oben wie ein Schleier abgegrenzt ist, wie zu dem Man- einer Kegelfläche gehörig, in welchen man von oben hineinsehen können glaubt. Bei den unteren Strahlen ist diese Erscheinung weni- deutlich; dieselben stehen mehr isolirt da.

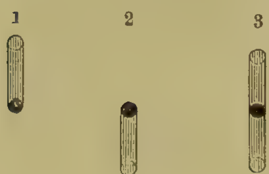
17. Veränderungen beim Zusammenkneifen der Augen. ·nn man die Augenlider langsam zusammenkneift, erkennt man beim ·blicke eines Sternes, dass sich zuerst die betreffenden Strahlenarme ·längern und steiler stellen, ehe diese Partie des Sternes in die ·stalt des gefiederten Sternes übergeht, und ehe auf der entgegenge- ·ten Seite Lichtbüschel entstehen.

18. Einfluss des Blinzelns. Mit dem Blinzeln ist die Neigung ·bunden, das Auge näher zu akkommodiren, wodurch der Strahlen- ·n sich nach §. 53 No. 10 nach allen Seiten vergrössert und man muss,

wenn das Auge durch öfteres Blinzeln affizirt ist, förmlich dagegen an kämpfen, dass sich mit dem Blinzeln nicht gleichzeitig diese Akkommoda tionsveränderung erzeugt.

19. Strahlengefieder eines dunklen Körpers. Das Phänomen der gefiederten Sterne zeigt sich auch bei dunklen Körpern. Wenn man einen schwarzen Punkt (1) in Fig. 423 bei geradeaus gerichteten oder etwas gesenktem Kopfe mit blinzelnden Auge betrachtet; so bildet sich ein nach oben gerichteter schwarzer Strahl von der Breite des Punktes, welcher an seinem obersten Ende einen dunkleren Punkt trägt. Zuweilen sieht man nicht den schwächer markirten Strahl, sondern nur den obersten Punkt, sodass alsdann der betrachtete Punkt verdoppelt erscheint.

Fig. 423.



Hebt man den Kopf mit blinzelndem Auge hoch empor; so kehrt sich die Erscheinung nach (2) um: der schwarze Strahl richtet sich nach unten.

In einer Zwischenlage des Kopfes erzeugt sich bei starkem Blinzeln nach (3) der doppelte Strahl mit einem aufwärts und einem abwärts gerichteten Arme und Endpunkte.

20. Sprung des leuchtenden Objektes beim Blinzeln. Wenn man eine entfernte Flamme durch ein feines Loch in einem Kartenblatte, wo sie als strahlenlose glänzende Scheibe erscheint, mit geradeaus gerichtetem oder gesenktem Kopfe betrachtet und nun blinzelt; so erkennt man deutlich, dass die Scheibe in die Höhe springt oder eine höhere Stellung einnimmt (ohne dass Verdopplung eintritt).

Betrachtet man diese Scheibe mit gehobenem Kopf; so springt dieselbe im Momente des Blinzelns abwärts.

Wendet man bei diesem Versuche nur ein Auge an; so ist der eben erwähnte Sprung nicht vertikal gerichtet, sondern im ersteren Falle schräg nach oben und innen (nach der Nasenseite) und im letzteren Falle schräg nach unten und innen. Bei der Anwendung beider Augen hat diese Seitenrichtung des Sprunges, wenn sie sich in dem Gesammtbilde nicht aufhebt, eine augenblickliche Trennung oder Verdopplung des Objektes zur Folge.

Die vorstehende Verrückung tritt auch in Folge des Blinzelns mit ganz freiem Auge bei der Betrachtung jedes Objektes, insbesondere bei den vorhin beschriebenen Erscheinungen der Pfeilstrahlen ein, wobei sich der ganze Strahlenstern etwas verrückt.

21. Weitere Veränderung des Sternes beim Blinzeln. Die eben beschriebene Bewegung des leuchtenden Punktes ist ebenso wie das Hervortreten der gefiederten Strahlen und der Büschelstrahlen einem Sprunge zu vergleichen. Nachdem die Lichterscheinung durch diesen Sprung ihre äusserste Entwicklung erlangt hat, ziehen sich, wenn man die Augenlider ganz ruhig hält, die gefiederten Strahlen allmählich auf eine gewisse Minimallänge, die oft verschwindend klein ist, zusammen. Man kann die Erscheinung nur durch fortgesetzte Wiederholung des frü

en Aktes, also durch fortgesetztes Blinken mit den Augenlidern auf n Stadium der Entwicklung erhalten.

Die Strahlenbüschel dagegen verharren, solange man die Augen- er in der fraglichen Stellung hält, ohne erhebliche Anstrengung uernd in ihrer Grösse und Lage und nur der Endpunkt derselben wankt hin und her, sowie man mit den Augenlidern zuckt. Streng ge- umen, ist es übrigens nicht bloss das Ende der Büschelstrahlen, wel- s bei diesen Zuckungen hinundher schwankt, sondern alle Elemente es solchen Strahles hüpfen, wie wenn der Strahl elastisch wäre und ı in seiner ganzen Länge abwechselnd ausdehnte und zusam- nzöge.

Durch die nicht ganz regelmässige Zerrbewegung des Blinzelns ent- ht es zuweilen, besonders wenn das Auge durch längeres Blinzeln schon zirt ist und die Augenlider unfreiwillig zucken, dass der Sprung der iederten Strahlen bei hellen und dunklen Objekten in abweichenden htungen erfolgt.

22. Durchlassung der Strahlen durch ein feines Loch. Man nn es leicht dahin bringen, dass durch ein feines Loch Büschelstrah- treten. Ein recht feines Loch braucht man bei gerade oder etwas ge- kt gehaltenem Kopfe nur vor der Pupille so hoch als irgend möglich h oben oder bei erhobenem Kopfe nur so tief als möglich nach ten zu verschieben, um selbst ohne Blinzeln einen resp. nach vorn l unten oder einen nach vorn und oben schiessenden Büschel zu erhalten.

Der durch ein feines Loch tretende Büschel divergirt weniger.

Schiebt man das Loch möglichst weit rechts zur Seite; so weicht Büschel nach links ab, und umgekehrt; oder vielmehr bleiben bei der ssersten Verschiebung des Loches nach der einen Seite vorzugsweise die h der anderen Seite abweichenden Strahlen sichtbar. Denn das Loch nimmt beim Blinzeln mit gerade gehaltenem Kopfe nach §. 31 No. 5 die Form Fig. 424 an, welche unten durch die Sehne *a b* abgeschnitten ist. Diese Sehne ist für mein Auge nicht ganz gerade, sondern etwas nach oben gewölbt, (ändert jedoch zuweilen ihre Form), sodass wenn das Loch am weitesten in der Richtung von *a* nach *b* verschoben ist, vorzugsweise die Ecke *a*, welche der Augenaxe am nächsten liegt, die Strahlen durchlässt.

Fig. 424.

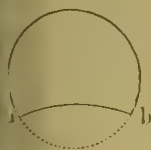


Fig. 425.



23. Verschwinden des Objektes beim Sichtbarbleiben der Büschel. Wichtig ist, dass man durch allmähliches Höherheben der dunklen Wand *df* in Fig. 425 (auf deren linker Seite sich das Auge befindet), und bei möglichster Ruhe der Augenlider im Zustande des Blinzelns es dahin bringen kann, dass das leuchtende Objekt ganz verschwindet, gleichwohl aber noch

die untersten Enden der Büschelstrahlen und die oberst Enden der gefiederten Strahlen als isolirte Rudimente der dunklen Wand sichtbar bleiben. Diese abgerissenen Büsch strahlen biegen sich an den vordersten Enden nach Fig. 425 (a. vor. meistens stark um, indem sie das Endstück einer trompetenartigen Flä zu bilden scheinen. In Folge des Zuckens der Augenlider sind diese schelelemente sehr beweglich, verlängern, verkürzen und schlängeln s rasch hinundher, sodass sie bald verschwunden sind, bald aber mit d abwechselnd sichtbar werdenden leuchtenden Objekte wieder in Verb dung stehen.

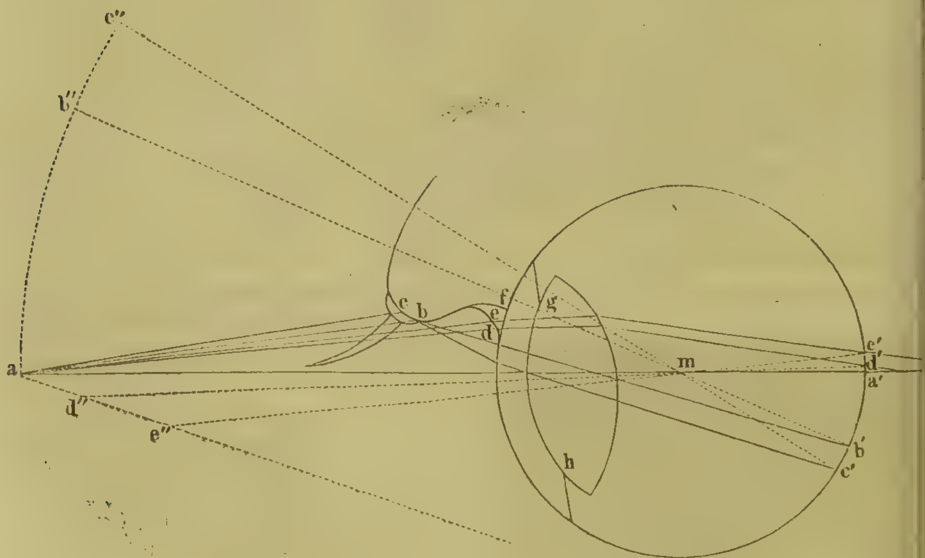
24. Entoptische Figuren in den Büscheln. In den Licht scheln, namentlich an den vorderen Enden sieht man häufig entoptis Figuren in Gestalt von kleinen Kreisen und runden Scheiben sich be gen (§. 64).

§. 59.

Erklärung der gefiederten und der Büschelstrahlen.

1. Entstehung der gefiederten Strahlen durch Reflexion Augenlidrande. Fig. 426 stellt einen nicht ganz in den natürlic Verhältnissen gehaltenen Durchschnitt des Auges und des oberen Aug lides mit einem davor liegenden leuchtenden Punkte *a* dar.

Fig. 426.



Das Augenlid bildet einen konvexen Wulst *cb*, auf welchem Augenwimpern stehen. Jedes Wimperhaar erhebt sich auf einem klei

-ischhügel, sodass der Rand des Augenlides in der Richtung normal zur -ene der Figur eine wellenförmige Linie bildet.

An den Augapfel schliesst sich das Augenlid mit einem ziemlich -arfen Rande *f* an. Der Winkel bei *f* ist mit der klebrigen Thränen-ıchtigkeit angefüllt. Diese Feuchtigkeit bildet einen konkaven -iegel *de*, welcher auf eine gewisse Erstreckung auch den vorderen -nvexen Rand des Augenlides etwa bis *c* benetzt. Namentlich zieht ı diese Feuchtigkeit in den zwischen den Wimperhaaren thalförmig -ildeten Zwischenräumen weiter nach vorn.

Ich behaupte nun, dass die gefiederten Strahlen durch Reflexion von *a* aus auf den vorderen konvexen und durch die Thränenfeuch-keit spiegelnd werdenden Augenlidrand fallenden Strahlen *ab*, *ac* -ildet werden, wogegen die Strahlenbüschel durch Refraktion der die konkave Oberfläche der Thränenfeuchtigkeit treffenden und -se Feuchtigkeit durchdringenden Strahlen *ad*, *ac* erzeugt werden.

Unsere Figur stellt die Konstruktion der sich hieraus ergebenden -ischen Verhältnisse in allgemeinen Umrissen dar. *a* ist der Mittel-ıkt des Sternes, als welcher uns der leuchtende Punkt erscheint. Wenn ı das obere Augenlid tief genug senkt, und Diess ist beim Blinzeln mit -rade gehaltenem oder etwas gesenktem Kopfe der Fall; so -ngen endlich Strahlen wie *bb'*, welche von dem vorderen Augenlidrande -rückgeworfen werden, in die Pupille ein. Diess tritt ein, sobald Wulst *cb* in den Strahlenkegel *agh* eintaucht, dessen Spitze *a* l dessen Basis die Pupille *gh* ist, zuweilen auch etwas früher.

Bei der Unvollkommenheit der spiegelnden Oberfläche *cb* und der -inheit des Strahlenkegels, welcher von *a* aus auf ein Element dieser -che fallen kann, kann diese Reflexion nur für diejenigen Strahlen einen -kbaren optischen Effekt hervorbringen, welche unter einem sehr -tzen Winkel auf diese Fläche treffen oder von der Tangentialrich-g sich nur ganz wenig entfernen. Demgemäss werden alle wirk-en reflektirten Strahlen *ab* die Linse in ihrem oberen, also in dem-igen Theile durchdringen, in welchem sich die obere Krone des -rmalen Sternes bildet. Ausserdem wird jeder Strahl, wie *ac*, des-Reflexionspunkt *c* vor dem eines anderen liegt, in einem tieferen -ıkte *c'* die Netzhaut treffen und dieser tiefere Netzhautpunkt wird -m höheren Punkte *c''* des scheinbaren Objektes entsprechen. Effekt dieser reflektirten Strahlen, welche jetzt an die Stelle der -ch den Augenlidrand abgeschnittenen direkten Strahlen treten, wird eine Verlängerung der oberen dreistrahligen Sternen-ne oder die Entstehung der oberen gefiederten Strahlen sein.

2. Isolirung der Querelemente der gefiederten Strahlen.

-nnauch die Elemente der Hautfläche *cb* durch Benetzung spiegelnd -l; so bleibt diese Fläche doch in ihrer Totalität uneben, indem, wie -on früher bemerkt, zwischen den Wimperhaaren Berg und Thal sich -let und das Thal vollkommener und weiter nach vorn mit spiegelnder -ssigkeit überzogen ist. Vermöge dieser Bildung wird, besonders bei von *a* aus nach rechts und links gehenden Strahlen mancher in einem -ale reflektirte von dem benachbarten Berge aufgefangen und wirkungs-

los gemacht: Diess hat zur Folge, dass der verlängerte Strahl aus lirten Querelementen besteht. Die Bogenform des Augenlidra in der vertikalen Ebene bewirkt ausserdem, dass diese Querelement den am meisten seitwärts liegenden Strahlen die flachste Neig annehmen. Bei mathematischer Symmetrie müsste der mittelste St eine stetige Mittellinie haben und an den Seiten sich in schräge Q elemente lösen.

3. Richtung der gefiederten Strahlen. Da ein Objekt, wel durch Reflexion seiner Strahlen auf einer Ebene gesehen wird, auf gegengesetzter Seite dieser Ebene, aber in der richtigen Entfern des Objektes zu liegen scheint; so werden die Punkte b'', c'' der gefie ten Strahlen in der Ebene des normalen Sternes oder in der I ac'' liegen.

4. Einschrumpfen der gefiederten Strahlen. Wenn das Au lid in einer bestimmten Stellung ruhig erhalten wird; so trocknet benetzende Feuchtigkeit von dem vordersten Rande c, wo sie am dünr und der Luft am meisten ausgesetzt ist, nach innen zu allmählich Demzufolge zieht sich der gefiederte Stern allmählich oben herab zusammen, erscheint aber beim Blinken mit den Au lidern, d.h. bei neuer Benetzung derselben, sofort in voller Grösse wi wird auch durch Thränen im Auge glänzender.

5. Bewegung beim Senken des Augenlides. Nachdem die fiederten Strahlen durch angemessene Senkung des Augenlides ihre gr mögliche Länge erreicht haben, was eintritt, sobald der am weitesten liegende Punkt c des reflektirenden Wulstes zur Wirkung gekommen verkürzen sie sich bei tieferer Senkung des Lides, weil bei Umdrehung des Wulstes bc um den Mittelpunkt m jeder Punkt wie c auf ihn treffenden Strahl nach einem höheren Punkte der Netzhaut fördert, was einem Herabsinken des scheinbaren Objektes c'' g kömmt.

6. Entstehung der Strahlenbüschel durch Brechung in Thränenflüssigkeit. Was die Strahlenbüschel betrifft; so hat Thränenflüssigkeit, deren Brechungsexponent dem des Augenwassers der Linse fast gleich ist, in der Ecke f dieselbe Wirkung, wie wenn Hornhaut die konkave Form dc annähme und der Raum dcf zur deren Augenkammer gelegt würde. Die konkave Form dc wirkt aber die auf sie fallenden Lichtstrahlen konvergenzvermindernd, ähn wie ein konkaves Brillenglas (zerstreuend kann man nicht fü sagen, da, wenn die Konvergenzverminderung bis zur Zerstreuung trieben würde, ein Lichtbild nicht mehr möglich wäre).

Die durch die Flüssigkeit dc gebrochenen Strahlen konverg in einem über a' liegenden Punkte und zwar liegt der Netzhautp c' des Strahles ac, welcher über dem Strahle ad einfällt, höher der Netzhautpunkt d' des letzteren. Der höchste Strahl ac, welcher den inneren Rand f des Augenlides passiren kann, entspricht also

efsten Punkte c'' des daraus sich scheinbar erzeugenden Büschelstrahles ae''.

Die Büschel beginnen in dem Augenblicke zu entstehen, wo die unrste Spitze der konkaven Fläche de den obersten Rand g der Pupille deckt, also nahezu in demselben Augenblicke, wie die gefiederten Strahn, gemeinlich aber etwas später, weil die von dem vorderen Rande zurückgeworfenen Strahlen, wie schon bemerkt, etwas früher zur Wirung gelangen können.

Je tiefer sich das Augenlid senkt, desto mehr wirkt offenbar die nkave Fläche de konvergenzvermindernd, indem sie sich um den Mitlpunkt m dreht, desto mehr verlängern und dehnen sich also die üschelstrahlen ae'', bis endlich die allmähliche Verdeckung durch den ınklen Vorderrand bc des Augenlides eintritt, welcher sukzessive die üschelstrahlen von dem längsten $aee'e''$ anfangend, abschneidet, also ese Strahlen ae'' nachundnach verkürzt.

7. Scheinbares Objekt, welches einem Büschelstrahle entpricht. Richtung dieser Strahlen. Nicht ein elementarer Lichtrahl wie ad ruft eine für unsere sinnliche Empfindlichkeit hinreichende ɔtische Wirkung hervor, sondern ein Bündel solcher elementaren Strahn. In der That wird sich nun auf dem doppelt gekrümmten Spiegel er Thränenfeuchtigkeit stets eine Kurve verzeichnen lassen, welche als asis einer von a ausgehenden Kegelfläche nur solche Strahlen enthält, elche jenseit der Linse mit dem Strahle ad in einunddemselben Punkte nvergiren. Dieses Bündel ist es, welches das Netzhautbild d' erzeugt.

Da die fragliche Flüssigkeit konvergenzvermindernd wirkt; so wird er Konvergenzpunkt des eben gedachten Strahlenbündels jenseit der etzhaut, oder wenn sich die Netzhaut hiernach akkommodirt, doch immer eiter entfernt vom Mittelpunkte m liegen, als der Konvergenzpunkt er direkten Strahlen aa'. Demgemäss wird jenes Bündel den Eindruck, s von einem näher liegenden Punkte kommend, hervorbringen, und wird das dieser Wirkung entsprechende scheinbare Objekt d'', welches der Richtung $d'md''$ liegt, nicht in der Entfernung des leuchtenden unktes a, sondern in einer näheren liegen. Hiernach ist klar, dass e Büschelstrahlen ae'' sich dem Auge zu nähern und nicht ie die gefiederten Strahlen auf der Sehlinie normal zu stehen scheinen.

8. Ausgangspunkt der Büschelstrahlen. Die Bogenform des ugenlides erzeugt Büschelstrahlen, welche sich nach links und nach chts wenden, und wenn das leuchtende Objekt kein materieller Punkt t, sondern eine gewisse Breite hat; so erkennt man, dass vermöge ner Bogenform der nach links sich wendende Strahl von der rechten ite des Objektes und der nach rechts sich wendende von der linken ite ausgehen muss, dass sich also diese Strahlen nahe vor dem Objekte reuzen werden.

Die oben erwähnte nicht ganz regelmässige Gestalt des Augenlidndes hat auch einen Einfluss auf die Form des Spiegels de der Thränenissigkeit und erzeugt eine gewisse Unregelmässigkeit in der Richtung

der Büschelstrahlen und öftere Durchkreuzungen derselben, lässt jedoc zwei Hauptrichtungen, nach links und nach rechts, vorwalten.

Je tiefer sich das Augenlid senkt, desto mehr nähert sich die Bo genlinie seines Randes der geraden, desto schwächer wird also di Divergenz der Strahlenbüschel.

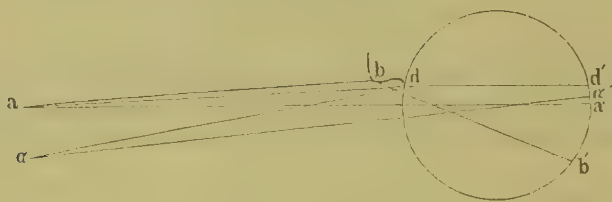
Ebenso, je heller das leuchtende Objekt wird, insbesondere wen dasselbe die Sonne ist, desto mehr zieht sich die Pupille zusamme desto kleiner wird also das wirksame Bogenstück des Augenlidrandes un desto mehr nähert sich dasselbe der geraden horizontalen Tangentialric tung des oberen Scheitelpunktes, desto geringer wird also auch in di sem Falle die Divergenz der Strahlenbüschel.

9. Gefiederte Strahlen dunkler Objekte. Dass das Phänomen de gefiederten Strahlen auch bei dunklen Körpern auftreten kan leuchtet ein, dass jedoch die Strahlenbüschel in solchem Falle nich bemerkbar sind, obwohl sie in mathematischem Sinne nicht fehlen we den, ist ebenso klar, weil hier das von a ausgehende Licht durch die Ze streuung der konkaven Fläche de in eine lange Linie ac'' ausgebreit also sehr bedeutend an Intensität geschwächt wird.

10. Veränderung der Erscheinung durch einen das Aug allmählich verdeckenden Schirm. Wenn man vor dem Gesichte d Kante eines dunklen Körpers herabschiebt; so werden zuerst die höc sten Strahlen ac, welche reflektirt werden, abgeschnitten, die gefi derten Strahlen werden also allmählich von oben herab verdeckt. A dann werden die gebrochenen Strahlen ae abgeschnitten; es verschwi den also auch die Büschelstrahlen. Immer aber ist jetzt noch d leuchtende Punkt a vermöge der direkten Strahlen aa' sichtbar.

Hat das Objekt nach Fig. 427 eine gewisse Höhe $a\alpha$; so werd zuerst alle reflektirten Strahlen ab, αb, alsdann alle gebrochenen Strahl

Fig. 427.

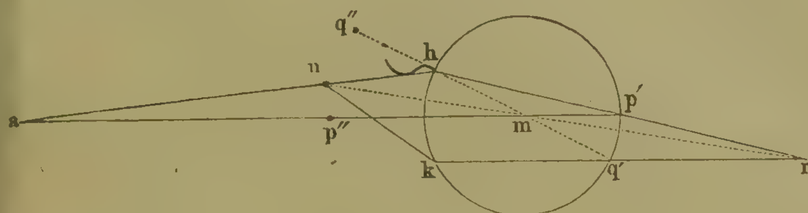


ad, αd, später die direkten Strahlen des höchsten Punktes a und zulet die direkten Strahlen des tiefsten Punktes α abgeschnitten. Es wird al den Anschein haben, als ob die Strahlen von den höchsten Punkt des Objektes ausgehen und das Objekt wird noch sichtbar bleib nachdem schon alle Strahlen verschwunden sind.

Ist der verdeckende dunkle Körper eine horizontal und quer geha tene Nadel von kleinem, aber hinreichendem Querschnitte n in Fig. 42 so wird der von n ausgehende Strahlenkegel nhk in dem für die Entfe nung ma akkommodirten Auge in dem jenseit der Netzhaut liegend

kte r konvergiren, also auf der Netzhaut die zwischen p' und q' lielen Zerstreuungskreise bilden, vermöge welcher uns der Punkt n als

Fig. 428.



durchsichtiges Zerstreuungsbild erscheint, welches in dem Winkel p'' und $q'mq''$ liegt, dessen tiefster Punkt also p'' und dessen höchq'' ist. Der Strahlenkegel nhk ist unten durch den Rand k der Pu, oben aber, wo dieser Rand verdeckt ist, durch die Linie nh bezt, welche den oberen Rand des Augenlides streift. Fällt nun der kt oder kleine Kreis n in die Richtung der Linie ac oder vielmehr in sehr spitzen Kegel acd (Fig. 426); so verdeckt derelbe alle in der änenfeuchtigkeit gebrochenen Strahlen, bringt also die Strahlenchel zum Verschwinden. Bei dieser Stellung wird aber der obere hl nh des von n ausgehenden Lichtkegels nhk in Fig. 428 oder vielr ein etwas tiefer, unterhalb der Thränenfeuchtigkeit in das Auge dieintretender Strahl fast genau durch denselben Punkt p' der Netzgehen, durch welchen der direkte Strahl an geht, weil ja dieser hl an mit jenem Strahle nh identisch ist. Der direkte Strahl an, überhaupt jeder von a aus direkt ins Auge tretende Strahl geht aber h den Punkt a' (Fig. 426), welcher in der Linie am liegt, in welcher leuchtende Punkt a uns erscheint. Da uns nun bei dieser Stellung tiefste Ort, welchen der dunkle Punkt n einnimmt, in derselben htung $p'mp''$ (Fig. 428) erscheint; so erkennt man, dass die Nadel lle Lichtbüschel in dem Augenblicke auslöscht, wo die ste Lage ihrer Zerstreuungsfigur den leuchtenden Punkt a deckt und dass diese Büschel sofort wieder erscheinen, wenn Nadel tiefer rückt, obgleich man alsdann den leuchtenden kt a durch das nach oben und nach unten darüber hinausende Zerstreuungsbild der Nadel erblickt, die Nadel also leuchtenden Punkt wirklich zu bedecken scheint.

Ferner leuchtet hieraus ein, dass wenn der dunkle Körper eine ssere Höhe hat, z. B. ein Kartenblatt ist, die Büschel schon dann verinden, wenn die unterste Linie des durchsichtigen Zeruungsrandes in die Gesichtslinie des leuchtenden Punktes t, dass aber in diesem Falle beim Tiefersenken des Blattes n Wiederauftauchen jener Büschel stattfindet.

Führt man ein Kartenblatt vor dem Gesichte von unten nach n; so können allmählich alle direkten Strahlen des leuchtenden ktes a abgeschnitten, es kann also dieser Punkt völlig unsichtbar den, ohne dass das Phänomen der Büschel und der gefiederten

Strahlen aufhört. Es werden auch die äussersten Spitzen di Strahlen zuletzt verlöschen.

11. Einfluss der Reichlichkeit und des Austrocknens Thränenwassers. Dass Thränen im Auge den Glanz dieser Ersc nungen erhöhen, ist sehr einleuchtend.

Ebenso ist klar, dass das Zudringen der Thränenfeuchtigkeit Ersatz für die durch Verdunstung absorbirte oder in Folge von and Affektionen, sowie das Aufsaugen derselben längs der benetzten Flä und endlich das Vorschieben und Zurückziehen derselben bei Bewegung der Augenlider innere Bewegungen in dieser Flüssig erzeugen, welche sich als Bewegungen in den langgedehnten Büsc strahlen zu erkennen geben.

Die in den Büschelstrahlen sichtbar werdenden Kreisfiguren, we neben der von diesen Strahlen abhängigen Bewegung unverkennbar selbstständige Bewegung haben, sind fliegende Mücken, deren stehungsursache wir in §. 64 erörtern werden.

Wir bemerken noch, dass jede Bewegung in der Thränenfeuchtig eine scheinbare Bewegung in dem Büschelstrahle erzeugt. Indem sich diesen relativen Bewegungen in den Büschelstrahlen die durch das Zu mit den Augenlidern verbundenen absoluten Bewegungen der Büs strahlen in allen ihren Elementen verbinden, entstehen die eigentl lichen Bewegungen in diesen Strahlen, welche sich dadurch auszeich dass eine Figur durch die Zuckungen der Augenlider in einer W über welche wir uns durch das Bewusstsein dieser Zuckungen Rec schaft geben, hinundher gestossen wird, daneben aber immer mehr i relativen Ort in dem Strahle verändert oder noch eine besondere se ständige Bewegung fortsetzt.

12. Einfluss der individuellen Form des Augenlidrandes. die individuelle und die zufällige Form und Beschaffenheit des Auge randes Einfluss auf die Erscheinung der gefiederten und der Büs strahlen hat, ist leicht zu erkennen.

Dringen reflektirte Strahlen *a c* (Fig. 426) früher als gebrochen ins Auge; wie es bei mir gewöhnlich der Fall ist; so erscheinen z die gefiederten und alsdann die Büschelstrahlen.

Zöge sich umgekehrt die Thränenfeuchtigkeit *d e* so tief herab, die gebrochenen Strahlen früher zur Wirksamkeit kämen; so wü zuerst die Büschel erscheinen.

Im letzteren Falle wird es sich ereignen, dass nachdem die unt Kante jener Feuchtigkeit bereits in den Kegel der direkten Stra eingetreten ist, also den oberen Theil der Linse verdeckt und dad die oberen Strahlen des normalen Sternes abgeschnitten hat, die am nigsten abweichenden der reflektirten Strahlen, z. B. *a b* nicht direk Auge gelangen, sondern auf die Thränenfeuchtigkeit treffen und dad gleich den Büschelstrahlen gebrochen und nach oben abgelenkt wer Das Resultat hiervon ist, dass der normale Theil des Sternes dem gefiederten getrennt und nur durch Büschelstrahlen bunden erscheint (Fig. 421).

13. Vervielfältigung schmaler Objekte. Es ist schon bemerkt, wenn das leuchtende Objekt wegen seiner Grösse, Entfernung oder nicht als Stern, sondern nur mit Lichtsäumen umgeben erscheint, gefiederten Strahlen als verlängerte Lichtsäume auftreten. Ist Dimension eines solches Objektes klein, wie z. B. an einer Mond-el; so ist die Verlängerung der Lichtsäume gleichbedeutend mit einer hbaren Vervielfältigung des Objektes nach §. 57 Fig. 395, ähn-der in einem zu nahe akkommodirten Auge entstehenden. Eine Mondsichel vervielfältigt sich also beim Blinzeln; es treten hier-edoch von den in §. 57 verzeichneten Formen nur die in vertikaler ung, nicht die in horizontaler Richtung sich absondernden hervor.

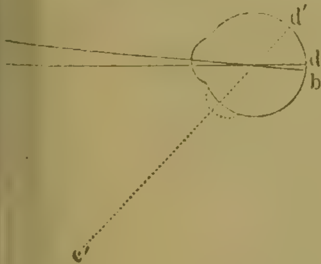
14. Mitwirkung des unteren Augenlides. Das untere Augen-erzeugt, wenn sich dasselbe der Pupille nähert, ganz dieselben Er-nungen, nur in umgekehrter Stellung. Und wenn beide Augenlider nzeitig gegen die Pupille anrücken, entstehen die verdoppelten, entgegengesetzten Seiten gerichteten gefiederten Sterne und hel.

Beim Blinzeln mit gerade gehaltenem oder etwas gesenktem Kopfe, auch beim ungezwungenen Blicke mit tief, jedoch nicht zu tief ge-em Kopfe nähert sich nur das obere Augenlid der Pupille und er-die vorstehend beschriebenen einfachen Phänomene. Beim Blinzeln rhobenem, sowie auch beim ungezwungenen Blicke mit hoch erhobe-Kopfe nähert sich nur das untere Augenlid der Pupille und erzeugt infachen Phänomene in entgegengesetzter Richtung. In einer Zwi-stellung des Kopfes, welche über die geradeaus gerichtete nur wenig en ist, nähern sich beim Blinzeln beide Augenlider der Pupille und lassen die doppelten Phänomene.

Wenn man hierbei noch die besondere Form des unteren Augenlid-s berücksichtigt, welcher weniger stark gewölbt, weniger stark im n gekrümmt, weniger dicht und auch mit weniger dicken Wimper-n besetzt und demzufolge mit geringeren Erhabenheiten versehen ls der obere; so erläutern sich alle Einzelheiten der obigen Erschei-en zur Genüge.

15. Scheinbare Bewegungen, welche das Blinzeln verursacht. haben jetzt noch der Gesammtbewegungen zu gedenken, welche Objekt beim Blinzeln annimmt.

Fig. 429.



Beim Zusammenkneifen der Augenlider durch die Zerrbewegung des Blinzelns werden durch die Augenlidmuskeln Pressungen auf den Augapfel ausgeübt, welche eine Bewegung desselben herbeiführen. Jede Bewegung des Augapfels hat aber eine scheinbare Bewegung des Objektes in entgegengesetzter Richtung zur Folge. Wenn sich die Augenaxe beim Anblicke des Objektes *a* nach Fig. 429 in der Lage *c d* befindet, sodass *b* das Netzhautbild

von *a* ist, und das Auge senkt sich, sodass seine Axe die Lage annimmt; so vergrössert sich der vom Augenpole *d* nach unte gende Abstand *db* des Netzhautbildes, indem derselbe die Grösse *d'* nimmt: das Objekt scheint also in die Höhe zu springen.

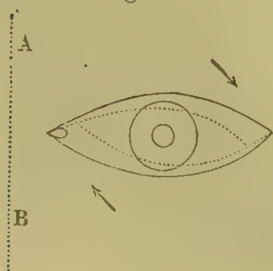
Erst allmählich verliert sich dieser Eindruck von der schein Ortsveränderung des Objektes, wenn das Gefühl in den Augenmu durch die mit der Grösse der Augenbewegung und der eintretenden sich steigernde Intensität uns genügende Rechenschaft von der veränd Stellung des Auges giebt und uns befähigt, die Richtung des Ob auf die frühere Grundaxe des absoluten Raumes zurückzubeziehen.

Eine plötzliche Drehung des Auges um eine in vertikaler Eben gende Axe nach oben, unten, rechts, links hat also einen schein Sprung des Objektes resp. nach unten, oben, links, rechts zur Folge.

Ebenso würde eine Drehung des Auges um die Sehaxe eine s bare Drehung des Objektes um die Sehlinie in entgegengesetzter Ric herbeiführen. Wir haben aber schon in §. 14 gesehen, dass eigen Drehungen um die Sehaxe nicht vorkommen, wenigstens nicht durc Augenmuskeln bewirkt werden, dass vielmehr diese Muskeln Drehungen um Axen veranlassen, welche in vertikaler Ebene liegen. Wirkung der eigentlichen Augenmuskeln kann also nur solche sc baren Bewegungen des Objektes zur Folge haben, bei welchen sic Objekt parallel mit sich selbst (ohne Drehung um sich selbst) rückt. Allerdings könnten die Muskeln der Augenlider, welch Blinzeln verursachen, andere Bewegungen herbeiführen, als die A muskeln. Allein Diess ist nicht wahrscheinlich: denn im Ganzen i beim Blinzeln eintretende Bewegung des Auges nur gering; grösste Theil der Kraftanstrengung wird auf die Bewegung der Au lider verwandt, und die Augenmuskeln müssen dem mit diese strengung verbundenen Drucke auf den Augapfel Widerstand le Wenn nun die Augenmuskeln wesentlich nach dem Prinzipe orga sind, Bewegungen zu erzeugen, mit welchen keine Drehung ve den ist; so können sie im Allgemeinen auch nur zu Widerstände fähigt sein, welche keine Tendenz zur Drehung haben, und daraus man schliessen, dass auch die Augenlidmuskeln beim Blinzeln Drehung um die Augenaxe, sondern nur um Axen, welche in tikaler Ebene liegen, zu bewirken streben.

In der That bemerkt man beim Blinzeln auch niemals eine Drel des betrachteten Strahlensternes, bei welchem sich diese Bewe so leicht kenntlich machen würde, sondern nur eine Verrückung.

Fig. 430.



Wenn Fig. 430 in den ausgezogenen L das rechte Auge, im Spiegel gesehen, dar sodass *AB* die Nasenlinie ist; so nehme Augenlider beim Blinzeln die durch die angedeutete Bewegung an. Das obere Aug drückt sich mehr in die äussere Ecke un untere mehr in die innere.

Beim Blinzeln mit gerade oder gesenk haltenem Kopfe überwiegt der obere Druc unteren und hat demnach auch eine Bewe

ıugapfels zur Folge, welche zusammengesetzt ist aus einer Drehung ie horizontale Axe ab (Fig. 431) vorn von oben nach unten und einer Drehung um die vertikale Axe c vorn von innen nach aussen in der Richtung des Pfeiles d.

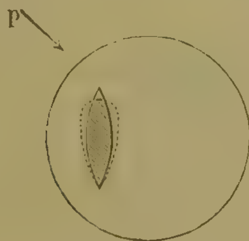
Fig. 431.

Hieraus muss aber ein Sprung des Objektes in schräger Richtung nach oben und innen hervorgehen.

Bei gehobenem Kopfe nimmt beim Blinzeln und bei hoch gehobenem Kopfe, wo sich das untere Augenlid stark staucht, der vertikale Druck von unten überhand, und in Folge der hierdurch erzeugten Drehung des Auges um die horizontale Axe springt das Objekt nach unten. Da jedoch in Beziehung ie Seitenrichtung dieser Sprung immer nach innen geht; so muss annehmen, dass für die Seitenbewegung die Komponente des Druckes beren Augenlides stets die vorwaltende bleibt. In der That ändert bei der Hebung und Senkung des Kopfes ja nur die Beziehung zu ertikalen Kräften, nicht die zu den horizontalen Seitenkräf- welche ihren Einfluss stets nahezu in derselben Weise beibehalten. Vorstehendes wird genügen, um die Sprünge der Objekte beim Blinerklärlich zu finden.

Der Druck, welcher die Bewegung des Augapfels bewirkt, muss eine, wenngleich schwache Formveränderung des Auges zur Folge haben. Bei dem Blinzeln mit gerade gehaltenem Kopfe ist die Resultante der Pressungen von oben nach unten geneigt, bringt also eine Abplattung des Augapfels an der oberen Hälfte und eine Verdickung der Linse am oberen Rande nach Fig. 432 hervor. Diese Verdrückung der Linse bringt die schon früher in §. 47 rochene Farbendispersion hervor, in Folge deren eine Kerzenflamme ben roth und unten violet erscheint.

Fig. 432.



16. **Fixirung eines gefiederten und eines Büschelstrahles.** In ehung auf die Möglichkeit, einen jeden Punkt eines Büschelstrahles eines gewöhnlichen Sternen- oder gefiederten Strahles zu fixiren das Auge darauf zu richten und zu akkommodiren, haben wir darauf ıerksam zu machen, dass wenn nur die Augenlider ruhig gehalten len, eine Drehung des Augapfels um seinen Mittelpunkt und Veränderung der Akkommodation des Auges die Verhält- der reflektirenden und brechenden Flächen an den Augenlidern, so- auch der einzelnen Theile der Linse zu der vom leuchtenden ekte durch den Mittelpunkt des Auges gezogenen Axe nur

wenig ändert. Die Verstellung der Pupille ist hierbei ziemlich unwesen da es nach der Organisation des Auges von geringem Einflusse ist, we Partie des von einem leuchtenden Punkte ausgehen Strahlenkegels in das Auge geführt wird. Hiernach wird eine Bewegung des Augapfels keine Bewegung in dem Lichtphäno zur Folge haben; man wird also einzelne Theile desselben fix können.

Auf die Erläuterung der Lichtbärte kommen wir im näch Paragraphen zurück.

17. Wichtigkeit des Phänomens der Büschelstrahlen für physiologische Optik. Das Phänomen der durch Brechung in Thränenfeuchtigkeit entstehenden Büschelstrahlen hat für die phys gische Optik eine wesentliche Bedeutung, indem mehrere interess Sätze derselben eine Bestätigung hierdurch erfahren, welche ich mit N druck hervorzuheben mich veranlasst fühle.

Wenn *dei* die Thränenfeuchtigkeit des oberen Augenlides (Fig. ist; so wird das unterhalb *d* liegende Strahlenbündel des leuchte

Fig. 433.

Punktes *a* normal gebrochen, und möge genau auf der Netzhaut b konvergiren; sodass also angenommen wird, das Auge sei auf den P *a* genau akkommodirt.

Ein durch die Thränenfeuchtigkeit gehender Strahl *aee'* konve nicht mehr nach *b*, sondern nach einem jenseit der Netzhaut liege Punkte *f*. Jedes von *a* ausgehende kleine Strahlenbündel, dessen B ein kleines Flächenelement der Thränenfeuchtigkeit bei *e* ist, findet seinen Konvergenzpunkt bei *f*. Wäre dieses Bündel voll, d. h. seine Basis die ganze Pupille; so würde daraus die Erscheinung e kreisförmigen Zerstreuungsscheibe *AB* entstehen, deren telpunkt *C* in der Sehaxe *ac* läge und deren Entfernung *Cc* Auge oder vielmehr deren Annäherung *aC* im Vergleich zu der E fernung *ac* des Punktes *a* durch den Abstand *bf* des Konvergenzpun *f* von der Netzhaut bestimmt wäre.

Da dieses Strahlenbündel nicht voll ist; so erscheint von der Sch *AB* nur der Punkt *g*, welcher in der Normalen *e'c* oder nahezu in jenigen Linie liegt, welche von *e'* durch den Kreuzungspunkt *c* Hauptstrahlen gezogen ist. Macht man in der Verlängerung di Linie *e'h* gleich *e'f*; so würde ein von *g* ausgehendes Strahlenbündel normaler Brechung in *h* konvergiren.

Je höher das von a ausgehende elementare Strahlenbündel liegt, o weiter entfernt sich der Konvergenzpunkt von der Netzhaut, desto ıer rückt also das scheinbare Objekt dem Auge. So konvergirt das del $a\,i$ nach k und erzeugt eine Erscheinung bei l, von wo aus ein mal gebrochenes Bündel bei m konvergiren würde.

Im Zusammenhange erscheint uns nun vermöge der Thränenfeuchtig- der Punkt a als ein Strahl $a\,l$, welcher sich dem Auge nähert. Der ze Strahl ist eine Zerstreuungsfigur, von welcher jedoch jedes nent einem anderen Zerstreuungskreise angehört. Die Konvergenz- kte der einzelnen Strahlenbündel, welche diesen Kreisen entsprechen, en die zusammenhängende Linie $b\,k$.

Wäre das Auge fähig, während die Netzhaut im Punkte b verbleibt, e Haut im Radius $c\,e'$ nach h, im Radius $c\,i'$ nach m u. s. w. zu ver- :en; so würde sich das Auge für die einzelnen Strahlen $a\,e'$, $a\,i'$ rich- akkommodiren. Die Thränenfeuchtigkeit $d\,e\,i$ ruft aber eine so ab- me Brechung der Strahlen hervor, und drängt die Konvergenzpunkte derselben so weit über die Netzhaut hinaus, dass eine solche ommodation nicht möglich ist.

Das vorstehende Phänomen bestätigt nun folgende Sätze.

Man sieht einen Punkt in der Richtung der Normalen auf derjenigen le der Netzhaut, wo der eindringende Lichtstrahl diese Haut trifft.

Da diese Normale nahezu durch den Kreuzungspunkt c der Haupt- hlen geht; so ist dieser Punkt auch für die Richtung des Sehens von nderer Wichtigkeit.

Um die Entfernung eines Objektes zu bestimmen, braucht dasselbe ne Ausdehnung zu haben. Das Auge beurtheilt die Entfernung eines elnen Punktes. Der Sehwinkel spielt also bei dem Urtheile über Entfernung keine Rolle. (Denn in dem stetig sich ausstreckenden hle $a\,g\,l$ hat jeder Punkt eine andere scheinbare Entfernung.)

Das Urtheil über die Entfernung hängt von der Konvergenz der auf Netzhaut treffenden Strahlen ab, wird aber durch die Akkommodation, n dieselbe nicht die richtige ist, dergestalt beeinflusst, dass die Ak- mmodation mit zu kurzer Augenaxe oder auf zu grosse Sehweite die fernung scheinbar vergrössert. Obgleich die Abweichung der Akkom- lation von der richtigen für die vorderste Spitze eines Büschelstrahles r bedeutend ist; so ist doch die Abweichung des Urtheils über die fernung bei weitem nicht so bedeutend. Denn das sehr weite Hinaus- ken des Konvergenzpunktes über die Netzhaut hinweg entspricht einem r nahen Objekte und in der That erscheint auch diese Spitze sehr e, obgleich nicht ganz so nahe, wie es der Fall sein würde, wenn sich Netzhaut bis zum Konvergenzpunkte zurückzuziehen vermöchte.

§. 60.

sondere Wirkung der Augenwimpern, der Augenlider und der Augenbrauen. — Erklärung der Lichtbärte.

1. Wesentlicher Zweck der Wimpern. Man hört gewöhnlich die inung aussprechen, die langen Büschelstrahlen, welche beim Blin-

zeln von dem leuchtenden Punkte gegen das Auge schiessen, verda den Augenwimpern ihren Ursprung. Ich muss bekennen, dass ich n durch manche Erscheinungen, welche einen direkten Einfluss der W pern auf jene Strahlen zu erkennen geben, eine Zeit lang in demse Irrthume befand. Zu solchen irreleitenden Erscheinungen gehört z. B. Zerlegung der Büschel in eine so grosse Zahl einfacher Strahlen, die regelmässigkeit in der Richtung dieser Strahlen, die Bewegung, welch diesen Strahlen entsteht, sobald man eine Nadel zwischen den Wim hinundher führt. Ausserdem glaubte ich in der in §. 57 No. 10 schriebenen Erscheinung des an den Zerstreuungsbildern einer nahe das Auge gehaltenen Nadel sich durch die Reflexpunkte bildenden Li strahles einen nahen Zusammenhang mit dem Phänomene der Büschelst len zu erblicken.

Ebenso hielt ich anfangs die gefiederten Sterne für das Re tat der Verzerrung der betreffenden Partie der Linse, veranl durch den mit dem Blinzeln verbundenen Druck.

Diese Voraussetzungen mussten aufgegeben werden, da sie sich fähig erwiesen, die Spezialitäten jener Phänomene mathematisch zu k struiren. Der im vorstehenden Paragraphen entwickelte Erklärungsgr ist unantastbar: derselbe erläutert die fraglichen Phänomene, sowie a die vorstehend angedeutete Beziehung der Wimpern zu denselben vo ständig. Es geht daraus hervor, dass die Wimpern vermöge der höhungen des Fleischrandes, auf welchem sie stehen, also nur direkt einen Einfluss auf die Absonderung der einzelnen Lichtlini welche den Strahlenbüschel bilden, nicht aber auf den Gesammtbüsc selbst haben. Nach Ausreissung sämmtlicher Wimpern wird Phänomen der Strahlenbüschel ganz ungeändert fortbestehen, sola sich auf dem Augenlidrande die kleinen Erhöhungen erhalten: verschw den die Letzteren allmählich; so würde damit keineswegs das Büsch phänomen aufhören; vielmehr würden alsdann nur die elementaren Lic linien sich nicht mehr markiren, sondern in einen breiten, gleic förmig glänzenden Lichtstreifen zusammenfliessen.

Die Augenwimpern spielen also bei den Büschel- und Sternphäno nen keine Rolle; sie erzeugen überhaupt durch Reflexion oder B gung unter gewöhnlichen Umständen keine Lichterscheinung In allen Stellungen der Augenlider, wie sie bei offenem oder blinzelnd Auge nur vorkommen können, solange dieser Blick noch ein einig maassen deutliches Bild erzeugt, ist die Neigung der Wimperhaare geg die Augenaxe so gering, dass diese Haare zu Reflexions- oder Beugun erscheinungen keine Gelegenheit geben können. Und Diess ist für deutliche Sehen sehr wichtig, wie aus Folgendem hervorgehen wird.

Die wahre optische Bestimmung der Wimpern beste darin, dass sie den Lichtreiz derjenigen sehr hellen od leuchtenden Gegenstände vermindern, welche ausser de fixirten Objekte Strahlen in das Auge senden. Je schwäch der Lichtreiz der Nebenobjekte ist, desto deutlicher tritt die W kung des Hauptobjektes hervor, und durch zu starkes Nebenlic kann die optische Wirkung des Hauptobjektes fast ganz vernichtet we den. So vermögen wir z. B. bei hellem Sonnenscheine keinen Gegensta

utlich zu sehen, für welchen die Sehlinie der nach der Sonne gerichteten nie nahe kömmt.

Diesen Zweck erfüllen die Wimpern einfach durch ihre Form als inne Körper. Ein jeder solcher Körper erscheint uns wegen seiner ossen Nähe als ein breites durchsichtiges Zerstreuungsbild. Diese lder breiten sich wie Schatten vor denjenigen Objekten aus, in deren rahlenkegel sie eintauchen, vermindern hierdurch die Helligkeit derseln, ohne doch störende sichtbare Objekte in das Gesichtsfeld zu führen: sie können sogar in den Strahlenkegel des Hauptobjektes ohne Stöng eintreten. Alles Dieses wäre nicht durch eine zusammenhängende imperfläche oder durch eine dicht geschlossene Reihe zu erreichen, ndern erfordert einen Saum von Haaren mit entsprechenden Zwischenumen.

Da das meiste Nebenlicht von oben kömmt, während von unten st gar kein intensives Nebenlicht ins Auge treten kann; so ist es auch thwendig, dass die oberen Augenwimpern länger, stärker und vollmmener sind als die unteren, welche letzteren überhaupt eine anatomine Vernachlässigung ohne Nachtheil vertragen können.

2. Entstehung der Lichtbärte durch die Wimpern. Bei diesem, m deutlichen Sehen so wesentlichen und häufigen, ja unaussetzten Gebrauche der Augenwimpern würde es offenbar sehr ungüng sein, wenn diese Körper andere fremdartige Lichtwirkungen hervorächten. Wir haben schon gesehen, dass Diess auch nicht der Fall ist. st bei solchen Stellungen der Augenlider, wo das eigentliche Sehen fhört, beginnen die Lichtphänomene, welche den Augenwimpern re Entstehung verdanken, und Diess sind die im vorstehenden Paraaphen erwähnten Lichtbärte.

Wenn sich nämlich die zusammengekniffenen Augenlider ganz he vor dem eigentlichen Schlusse befinden, stellen sich die Wimperare in fast vertikaler Stellung wie ein Gitter dicht vor die Hornut. In dieser Stellung werden die von vorn kommenden Strahlen nach chts und links von dem zylindrischen Haarkörper so reflektirt, dass sie die Pupille eintreten können. Diess erzeugt den horizontalen Lichtrt Fig. 422.

3. Irisirung der Lichtbärte. Die an den Haaren vorbeistreifenden rahlen können auch nach der anderen Seite hin durch Beugung eine terferenzerscheinung hervorbringen, welche sich durch Irisirung nntlich machen wird.

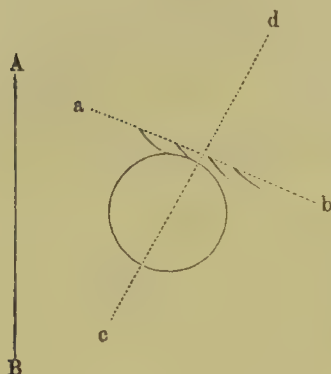
Farbendispersion in Folge der Interferenz findet übrigens nicht oss bei der Beugung oder Diffusion der eine Kante streifenden Strahn, sondern auch bei der Reflexion statt, wenn die reflektirende Fläche rumm ist. Demgemäss werden nicht bloss die Lichtbärte, sondern ch die gefiederten Strahlen eine derartige Dispersion oder Farnsäume zeigen.

4. Lichtbärte, welche durch die Augenbrauen entstehen. enn man den Kopf tief senkt, also unter dem Berge hervor nach

einem leuchtenden Punkte blickt, sodass die sich kräuselnden Augenbrauen den Strahlenkegel fast ganz abschneiden; so erzeugen die Haare der Augenbrauen ähnliche Lichtbärte.

Fig. 434 zeigt das rechte Auge, von innen angesehen, sodass *AB* die Nasenrichtung ist. In der eben erwähnten Stellung zieht sich der Augenbrauenrand in der schrägen Richtung *ab* vor dem Auge vorbei und die Haare dieser Braue haben die gezeichnete Stellung. Es ist ohne Weiteres klar, dass die an diesen Haaren reflektirten Strahlen einen Büschel in der Richtung *cd*, also den in Fig. 412 dargestellten Bart erzeugen müssen.

Fig. 434.



Vor dem linken Auge wird sich unter diesen Umständen der Bart Fig. 413 vor beiden gleichzeitig gebrauchten Augen, also der Doppelbart Fig. 411 bilden.

Wenn der Kopf tief genug gesenkt ist, sodass die eben bezeichnete Verdeckung der Pupille durch die Augenbrauen stattfindet und das Sternen- und Strahlenphänomen in einen Lichtbart verwandelt ist, kann das Blinzeln die Erscheinung nicht mehr ändern: denn das durch das Blinzeln herabgezogene obere Augenlid kann vor der verdeckenden Braue nicht zur Wirkung gelangen. Eine Änderung der Erscheinung kann nur dadurch erzielt werden, dass man die Augenbrauen kräftig hinaufzieht: hierdurch wird die Pupille frei und das Auge, welches jetzt völlig geöffnet und frei ist, erblickt den normalen Stern. Blinzeln mit hinaufgezogenen Augenbrauen lässt sich aber nicht ausführen, da das Herabziehen des oberen Augenlides die Braue mitnimmt.

5. Zufällige Wirkung der Wimpern und Brauen. Dass die Haare der Wimpern und der Brauen je nach der Beleuchtung auch unter gewöhnlichen Umständen hinundwieder gewisse, aber meistens nur schwache Lichtwirkungen hervorbringen können, leuchtet ein. Diese Wirkungen werden durch solche Umstände begünstigt, welche das Haar reflexionsfähiger machen, also z. B. durch Benetzung mit Regen und Schweiss. So markiren sich zuweilen feine in den Wimpern oder Brauen hängende Tropfen.

Unter geeigneten Umständen erzeugen sogar die übrigen dem Auge nahe liegenden Gesichtsflächen, Theile der Nase, der Wangen u. s. w. Lichtphänomene durch Reflexion.

6. Erscheinungen beim Blinken. Die hauptsächlichsten und strahlendsten Lichterscheinungen, wozu die eigentlichen Büschel zu rechnen sind, werden also weder durch die Augenwimpern, noch durch die Augenbrauen, auch nicht einmal eigentlich durch die Augenlider, sondern durch das am inneren Rande der Augenlider kapillarisch sich aufsaugende Thränenwasser hervorgebracht. Diese Büschel schiessen bei jedem

Bewegung, welche die Augenlider der Pupille nahe bringt, aus den leuchtenden Objekten, selbst aus den mässig hellen, wie z. B. Fensteröffnungen, blitzartig hervor gegen das Auge ein. Es bedarf hierzu nicht des eigentlichen Blinzelns oder der Festhaltung der Augenlider in einer solchen Stellung; jede vorübergehende Bewegung, sofern sie nur das bezeichnete Ziel überschreitet, bringt sie hervor.

Demgemäss verschwinden die hellen Objekte beim Schliessen der Augen mit einem Lichtblitze und erscheinen mit einem solchen beim Öffnen derselben. Da nun das häufige Öffnen und Schliessen der Augen zur Erneuerung der verdunstenden Augenfeuchtigkeit theils desshalb nothwendig ist, um die Hornhaut stets äusserst glatt und durchsichtig zu erhalten, theils desshalb, um das Gleiten der Augenlider auf der Hornhaut sanft und ohne Reiz zu bewerkstelligen; so würden die Büschelphänomene dem deutlichen Sehen sehr hinderlich werden, wenn die Bewegung der Augenlider mit der den übrigen Muskeln des Körpers eigenen Langsamkeit vor sich ginge. Die rasche Bewegung der Augenlider beim Blinken, die Kürze des physischen Augenblickes ist daher ebenso nützlich zur Verhütung von Störungen durch fremde Lichtphänomene, wie sie es ist zur Erhaltung der Kontinuität des Lichteindruckes des fixirten Objektes.

7. Erhöhung gewisser optischen Effekte durch Blinzeln. Gleichwohl bedient sich die Natur unter geeigneten Umständen auch wieder mit instinktiver Weisheit derselben Gelegenheit, welche aus physiologischen Rücksichten nothwendig ist, in optischer Hinsicht aber nur Störungen erzeugt, um damit andere optische Mängel bis zu einem gewissen Grade zu verbessern.

Der Kurzsichtige blinzelt beim Fixiren eines Gegenstandes in naher und mässiger Entfernung mit den Augen, sich selbst des Grundes unbewusst, lediglich desshalb, um den konkaven Spiegel der Thränenfeuchtigkeit in die Gesichtslinie zu bringen, indem hierdurch die Konvergenz des Strahlenkegels vermindert und der Konvergenzpunkt, welcher bei diesem fehlerhaften Auge vor die Netzhaut fällt, dieser Haut näher geführt wird. Ebenso liebt der Kurzsichtige die zu lesende Schrift mit erhobenem Kopfe, von oben herab anzusehen, wodurch der erwähnte Spiegel am unteren Augenlidrande in die Gesichtslinie tritt. Zuweilen fixirt der Kurzsichtige einen nahen Gegenstand mit gesenktem Kopfe, indem er, unter dem Berge hervor blickend den Spiegel des oberen Augenlidrandes zu Hülfe nimmt.

Der Fernsichtige blinzelt nicht, um schärfer zu sehen: er vermeidet vielmehr sorgfältig den Eintritt des Thränenwassers in die Gesichtslinie und blickt stets mit möglichst geöffnetem Auge gerade aus, woraus zuweilen der stiere Blick entsteht.

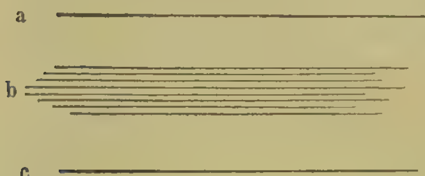
Das normale Auge blinzelt gern, wenn es einen fernen Gegenstand, besonders einen dunklen, keinen hellen, welcher leicht Strahlen schiessen würde, fixiren will, weil dasselbe auf grosse Entfernung stets zu nahe akkommodirt ist, sodass der Konvergenzpunkt vor der Netzhaut liegt und durch Zerstreuung zurückgebracht werden muss. Niemals blinzelt das normale Auge bei der Fixirung eines nahen, d. h. die mittlere

Sehweite von 8 bis 10 Zoll wenig über- oder unterschreitenden Objektes: es öffnet sich hierbei vielmehr vollständig.

Dass die Helligkeitsverhältnisse nicht der Beweggrund dieses Verhaltens sind, leuchtet ein, da man bei fernen Objekten viel mehr Grund hätte, die Intensität durch Öffnen der Augenlider zu erhöhen und bei ganz nahen Objekten dieselbe durch Schliessen zu vermindern.

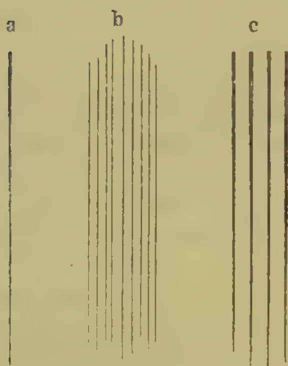
Nur bei ganz dicht vor die Augen tretenden Objekten blinzelt Jedermann gern, nicht aber um den Konvergenzpunkt zu verrücken, sondern um die zerstreuende Wirkung der Randpartie der Linse durch Verdeckung des oberen und unteren Randes derselben zu vermindern oder die oberen und unteren Zerstreuungsbilder zu beseitigen.

Fig. 435.



Diese Wirkung ist besonders bei schmalen und horizontal liegenden Objekten von Erfolg. Denn die Nadel *a* in Fig. 435, welche uns dicht vor dem Gesichte bei offenem Auge als ein breiter Zerstreuungsstreifen *b* erscheint, nimmt beim Blinzeln die Form *c* an, indem die oberen und unteren Zerstreuungsbilder verschwinden. Die vertikale Nadel *a* in Fig. 436 jedoch, welche bei offenem Auge ebenfalls als breiter Streifen *b* erscheint, behält auch beim Blinzeln dieselbe Breite *b*: allein durch Beseitigung der oberen und unteren Zerstreuungsbilder fallen aus diesem Streifen mehrere vertikale Bilder aus, sodass derselbe wie eine Gruppe schärfer abgesonderter einzelner Nadeln erscheint (vgl. §. 57 Fig. 392).

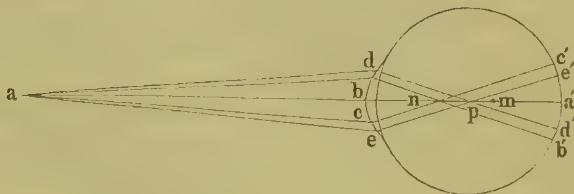
Fig. 436.



8. Erscheinung beim Auffallen eines Regentropfens auf die Hornhaut. Schliesslich nehme ich Gelegenheit, einer Erscheinung zu erwähnen, welche auf der Brechung durch ein äusseres Medium beruht.

Wenn ein feiner Regentropfen auf die Hornhaut fällt und man befindet sich im Dunkeln einem leuchtenden Punkte *a* (Fig. 437) gegenüber;

Fig. 437.



so erzeugt sich ein kreisförmiges Lichtphänomen und meistens markiren sich daran zwei konzentrische Lichtringe.

In der That wird der Tropfen, indem er sich auf der Hornhaut ausbreitet, die gezeichnete Form annehmen, also in der Mitte konvex und am Umfange konkav sein. Die auf den konvexen Theil fallenden Strahlen werden sich vor dem Mittelpunkte m durchkreuzen und einen Lichtring erzeugen. Die auf den konkaven Theil fallenden Strahlen werden sich ebenfalls vor dem Mittelpunkte m durchkreuzen, weil die Tangenten an diesen Theil doch immer noch flacher gegen die Axe aa' geneigt sind als die der korrespondirenden Punkte der Hornhaut. Der Durchkreuzungspunkt für die ersteren und die letzteren Strahlen wird auch stetig immer weiter an den Mittelpunkt m heranrücken, sodass sich an den durch die ersteren Strahlen erzeugten Lichtring eine den letzteren Strahlen entsprechende Kreisfläche unmittelbar anschliessen wird.

Wenngleich hiernach das ganze Phänomen aus einer vollen Kreisfläche besteht; so werden sich doch die eben genannten beiden Theile durch das verschiedene Gesetz des Helligkeitswechsels voneinander so unterscheiden, dass sich in der Kreisfläche zwei hellere Lichtringe markiren. Der eine Ring wird dem äussersten Umfange entsprechen, indem die auf die Mitte des Tropfens fallenden Strahlen, welche am meisten abgelenkt werden, mit dem geringsten Intensitätsverluste gebrochen werden. Vom Umfange nach innen wird dann die Helligkeit bis an eine gewisse Stelle, welche nahezu dem Wendepunkte der Kurve bd entspricht, abnehmen, um hierauf wieder nach dem Mittelpunkte zuzunehmen und daselbst entweder eine hellere Zentralfläche oder, wenn der Anschluss der Flüssigkeit an die Hornhaut nicht ganz tangential erfolgt, einen zweiten Ring zu bilden.

9. Anhäufung der Thränenfeuchtigkeit auf der Hornhaut. Zuweilen bleiben beim Blinken der Augenlider kleine Mengen der Thränenfeuchtigkeit, namentlich solche von möglichst klebriger Beschaffenheit auf der Hornhaut haften und erzeugen Licht- und Schattenfiguren von verschiedener Gestalt.

Ein rundlicher Tropfen erscheint als Scheibe. In der Regel werden diese kleinen Mengen von Thränenfeuchtigkeit durch das obere Augenlid auf die Hornhaut geführt. Dieses Auge macht beim Blinken die grösste Bewegung, sein Rand ist immer am meisten mit jener Feuchtigkeit gefüllt, und da dasselbe beim Zurückziehen sich aufwärts bewegt, lässt es umso leichter kleine Flüssigkeitsmengen an der Hornhaut sitzen. Bei anhaltendem Experimentiren vermehren sich diese leicht haftenden Mengen: Diess wird seinen Grund in der erhöhten Sekretion des Augenlides haben, ich nehme aber auch an, dass die forcirte Sekretion die Feuchtigkeit mehr in klebriger Substanz liefert.

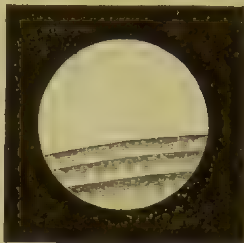
Eine vom oberen Augenlide zurückgelassene Quantität solcher klebrigen Feuchtigkeit fliesst nicht etwa an der Hornhaut herab, sondern saugt sich allmählich nach jenem Augenlide zurück, bewegt sich also aufwärts, namentlich wenn man mit den Augenlidern öfters blinkt. Die klebrige Thränenfeuchtigkeit, welche dazu dient, die Hornhaut und das Augenlid geschmeidig und glatt zu erhalten, fliesst überhaupt nicht, sondern überspannt die kugelförmige Hornhaut gleich einer elastischen Haut, welche ihre Dickenunterschiede vermöge der

Molekularwirkungen ausgleicht. Es handelt sich hierbei nicht um das eigentliche Thränenwasser, welches nur durch besondere Reize in grossen Mengen und alsdann in wässriger Beschaffenheit erzeugt wird, sondern um das auch im gewöhnlichen Zustande des Auges vorhandene Schmiermittel, die Augenbutter. Blickt man also durch ein feines, dicht vor das Auge gehaltenes Loch gegen den hellen Himmel oder auf einen ebenso nahen feinen Glanzpunkt, sodass jenes helle Loch oder dieser leuchtende Punkt das Bild der Pupille als grosse helle Kreisfläche entwirft (§. 31 No. 15), wobei das Auge zu weit akkommodirt ist und die Strahlen hinter der Netzhaut konvergiren; so scheint der an der Hornhaut aufwärts ziehende Tropfen sich abwärts zu bewegen. Fig. 438 stellt die Erscheinung dar; die Form, welche die Flüssigkeit bei dieser Bewegung annimmt, bestätigt es, dass die Masse nicht vermöge der Schwere abwärts fliesst, sondern dass diese Bewegung nur eine scheinbare ist, indem die klebrige Masse in Wirklichkeit aufwärts gesogen wird, in Folge der Schwere und der Adhäsion an die Hornhaut aber sich in beutelförmige Tropfen absondert, welche mit ihrem grössten Bogen nach unten hängen.

Fig. 438.



Fig. 439.



Wenn man beim Blicke durch das kleine Loch blinzelt, also den oberen Augenlidrand halb vor die Pupille schiebt; so drängt man gleichzeitig die ganze Thränenfeuchtigkeit, welche den Winkel dieses Randes ausfüllt, auf die Hornhaut. Zieht man jetzt das Augenlid recht rasch zurück; so bleibt jene Feuchtigkeit zum grossen Theile in einem horizontalen Streifen auf der Hornhaut haften und saugt sich allmählich aufwärts. Man hat es jetzt gewissermaassen mit einer ganzen Reihe nebeneinanderliegender Tropfen der vorstehenden Art zu thun. Es bilden sich nach Fig. 439 horizontale Licht- und Schattenwellen, welche scheinbar abwärts fliessen und erst nach und nach verschwinden.

10. Farbige Strahlenkegel beim Blinzeln durch ein feines Loch. In §. 55 No. 3 haben wir den glänzenden irisirenden exzentrischen Lichthof beschrieben, welcher sich beim Blicke durch ein feines Loch in die Sonne zeigt, wenn das Sonnenbild auf den Rand des Loches fällt. Ein anderes sehr schönes Licht- und Farbenphänomen ergiebt sich, wenn man beim Blicke durch ein solches Loch in die helle Sonne mit dem Auge blinzelt. Sowie der Rand des Augenlides der Pupille nahe genug gekommen ist oder dieselbe etwas überdeckt, bildet das Reflexlicht auf jenem Augenlidrande einen Glanzpunkt, welcher seine Strahlen in das Auge sendet. Da dieser Rand nicht spiegelglatt ist, sondern eine hinreichend rauhe und vor dem Auge in einer sanften Wölbung sich ausbreitende Fläche darstellt, und da jede von diesem Rande nach der Pupillenöffnung gezogene Linie nur eine schwache Neigung gegen diese Fläche bildet; so reflektirt diese Fläche Strahlen nach allen Punkten der Pupille;

r fragliche Glanzpunkt wirkt also für das Auge wie ein allseitig dif-ndirender oder leuchtender Punkt, wenngleich gewisse Reflexions-htungen sich durch Intensität auszeichnen.

Gleichwie nun das feine Loch, welches als leuchtender Punkt wirkt, n der Pupille ein grosses helles Bild erzeugt, ebenso erzeugt der Glanz-nkt des Augenlides von der Pupille ein ähnliches Bild, welches aber rösser ist und näher zu liegen scheint, als das erstere, weil der ztere Glanzpunkt dem Auge näher liegt, als das feine Loch.

Der Augenlidrand ist rundlich; er stellt also nicht einen einfachen flexpunkt, sondern eine reflektirende Fläche dar: derselbe erzeugt also ne stetige Reihenfolge von immer grösser werdenden Kreisbildern, also ne konische Lichtfläche. Die reflektirten Strahlen interferiren, d demgemäss zeigt diese konische Lichtfläche ein lebhaftes Far-nspiel.

Das Phänomen stellt also nach Fig. 440, 441 oder 442 eine farbige gestumpfte konische Strahlenfläche dar, deren entferntere Basis das von r feinen Sehöffnung gebildete Kreisbild der Pupille ist.

Fig. 440.



Fig. 441.

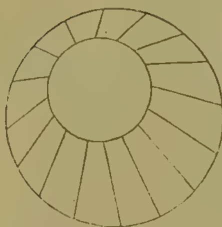
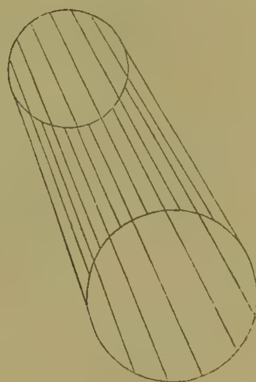


Fig. 442.



Da der Augenlidrand nach der Seite Erhöhungen und Vertiefungen sitzt, so zeigen sich zuweilen mehrere solcher konischen Flächen, welche mmtlich von der eben genannten Basis ausgehen.

Dieses Phänomen kombinirt sich nun mit den übrigen schon früher sprochenen Erscheinungen. Die dunklen Wimperhaare erzeugen schwarze hattenlinien in der hellen Basis des abgestumpften Kegels, es dringen nge Büschelstrahlen, welche von der Thränenfeuchtigkeit erzeugt werden, ch vorn weit über die Grenzen des Kegels hinaus; der in die Pupille ntretende Augenlidrand schneidet einen geradlinigen Abschnitt von der llen Basis und bei weiterem Vortreten auch die ganze anliegende Seite r konischen Lichtfläche ab; die Thränenfeuchtigkeit wird in Form von llen und dunklen Streifen an jenem Rande sichtbar u. s. w.

Vor allen Dingen markiren sich aber mehrere sehr helle Lichtbö-

gen, welche durch das Sonnenbild gehen und beiderseits bis an die vo- dere Basis der konischen Fläche reichen. Diese Bögen variiren nach Zah und Lage. Sie sind das Resultat des an den Wimperhaaren reflekti- ten Lichtes. Ein solches Haar bildet einen Zylinder mit etwas gebogen Axe, dessen Querschnitt ein Kreis von sehr kleinem Radius ist. Die- Zylinder stehen nahezu normal auf der Augenaxe, reflektiren also nu Licht nach zwei entgegengesetzten Seiten, nicht aber nach den nor- mal darauf stehenden oder gegen dieselben geneigten Richtungen. Dem- nach erzeugt jedes vor die Pupille tretende Haar einen etwas gekrümmte Lichtstrahl oder Lichtbogen, welcher durch das Sonnenbild geht, abe die vordere Basis der konischen Lichtfläche nicht überschreiten kann, we alle Punkte eines solchen Haares weiter vom Auge entfernt sind, als de Reflexpunkt des Augenlidrandes, welcher diese vordere Basis erzeugt.

§. 61.

Druckerscheinungen.

1. **Scheinbare Bewegung, veranlasst durch Druck.** Ein mecha- nischer Druck auf das Auge hat verschiedene optische Erscheinungen zu Folge.

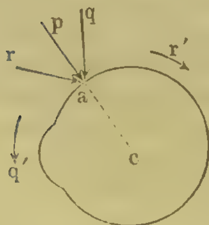
Zunächst bewirkt derselbe eine scheinbare Bewegung des ganze Gesichtsfeldes mit allen Objekten. Dieselbe entspringt aus der Drehungs- bewegung, welche dem Augapfel durch jenen Druck ertheilt wird.

Der Zusammenhang zwischen Bewegungen des Auges und scheinbare Bewegungen des Objektes ist schon in §. 59 No. 15 erläutert. Dreht sich de Augapfel um seinen Mittelpunkt in irgend einer Richtung; so bewegt sich scheinbar das Objekt in entgegengesetzter Richtung. Bei der Drehung des Auges nach unten hebt sich das Objekt, bei der Drehung nach oben sinkt dasselbe, bei der Drehung nach rechts oder links rückt dasselbe resp. nach links oder rechts.

Wird während des Druckes auf ein Auge das andere nicht ge- drückte Auge ebenfalls offen erhalten; so trennen sich alle Objekte in zwei Bilder. Das dem nicht gedrückten Auge angehörige Bild verharre an seiner Stelle, während das dem gedrückten Auge angehörige Bild sich fortbewegt.

Durch einen Druck auf eine bestimmte Stelle a des Augapfels Fig. 443 kann das Auge nach verschiedenen Richtungen gedreht werden.

Fig. 443.



Liegt der Druck p in der Richtung des Radius ac; so erfolgt gar keine Drehung, sondern nur eine Parallelbewegung des Auges, welche keine erhebliche Ortsveränderung der Objekte zur Folge haben kann. Neigt sich der Druck wie q von irgend einer Seite her gegen diesen Radius; so erfolgt die Drehung nach der entsprechenden Seite des Pfeiles q'. Über die Drehungsrichtung entscheidet also die zum Radius ac normal stehende

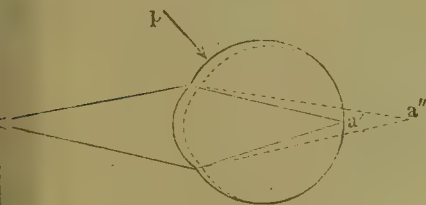
mponente des Druckes und hieraus ergiebt sich dann die entgegen-etzt liegende scheinbare Bewegung der Objekte.

Aus der scheinbaren Bewegung der Objekte kann man hiernach auch die Drehungsrichtung des Auges schliessen. In dieser Hinsicht ist es eressant, dass man nicht im Stande ist, eine eigentliche Drehung der ekte, also auch keine Drehung des Auges um die Augenaxe zu be-kstelligen, wie sehr man auch das Auge durch die Pressung mit einem r mit mehreren Fingern hierzu nöthigen mag. Alle Bewegung der ekte ist Parallelbewegung, alle Drehung des Auges also Drehung die auf der Augenaxe normal stehende horizontale und ver-ale Axe. Diese Beobachtung gereicht den in §. 14 ausgesprochenen ichten über die Funktionen der Augenmuskeln zur wesentlichen Be-igung.

2. **Verkleinerung, veranlasst durch Druck.** Die zweite Wirkung Druckes besteht in einer Verkleinerung der Objekte. Diese Wir-g entspringt aus der mit dem Drucke verbundenen Formverände-g des Augapfels.

Der Druck p in Fig. 444, welcher sich überhaupt nur an der vorderen Hälfte des Augapfels anbringen lässt, bewirkt eine Abplattung dieser Hälfte. Während also vorher der von a ausgehende Strahlenkegel sich in a' konzentrirte, rückt der Konvergenzpunkt jetzt weiter hinaus nach a''. Das Auge muss sich also näher akkommodiren (die Linse muss eine stärkere Wölbung und die enaxe eine grössere Länge annehmen), um diesen Konvergenzpunkt die Netzhaut zu führen. Diess zieht aber nach §. 24 No. 5 eine schein-Verkleinerung des Objektes nach sich.

Fig. 444.

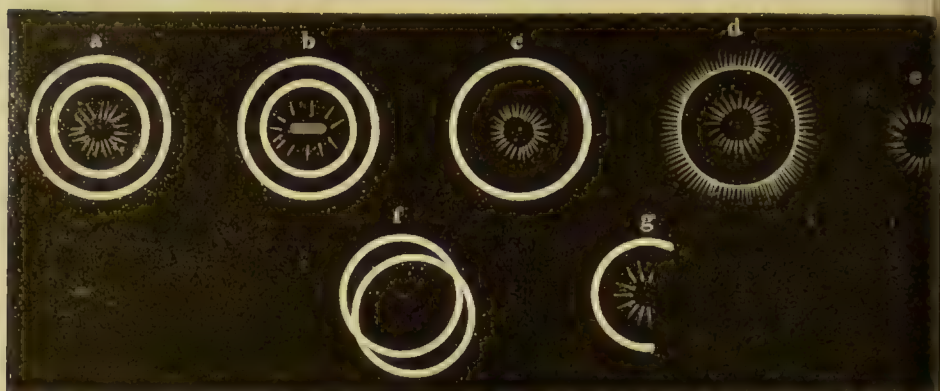


3. **Verzerrung und Verfärbung, veranlasst durch Druck.** Die e Wirkung des Druckes ist eine leicht zu deduzirende Verzerrung Farbensäumung der Objekte in Folge der unsymmetrischen nderung des Augapfels mit allen inneren Organen, namentlich der e.

4. **Lichtringe, erzeugt durch Druck.** Die vierte Wirkung des kes besteht in der Erzeugung subjektiver Lichterschei-gen. Diese Erscheinungen, welche bei geschlossenen Augen und im len Raume besonders lebhaft sind, bestehen in leuchtenden Ringen, ie in Fig. 445 (a. f. S.) dargestellt sind. Die Normalgestalt ist ein dop-er konzentrischer Lichtring von ziemlich scharfer Begrenzung a und b). Der Zwischenraum zwischen beiden Ringen ist durchaus dunkel, nnere Kreisfläche jedoch vom Zentrum aus mehr oder weniger leuch- Häufig zeichnet sich der Mittelpunkt durch eine spaltenförmige, hori-l liegende leuchtende Figur aus (Fig. b). Übrigens nimmt die Erschei- je nach dem Drucke und der Empfindlichkeit des Auges auch die

Gestalten *c*, *d*, *e* an, bei welchen sich nur ein oder gar kein Ring mar-kirt. Zuweilen liegen die beiden Ringe nicht konzentrisch, sonder

Fig. 445.



durchschneiden sich nach *f*. Auch erscheint die Figur nach *g* unt Umständen unvollständig.

Wenngleich die Nebenumstände bei der speziellen Gestaltung d Druckerscheinung eine Rolle spielen; so scheinen doch folgende allgemein Beziehungen zu bestehen.

Bei schwachem Drucke entsteht eher ein einfacher Ring *c*, *d*, *e*, b starkem Drucke dagegen ein doppelter *a*, *b*.

Die einfachen Ringe gehören mehr einem Drucke in der inner Augenecke an, wo das äussere Polster der Thränendrüse und der Auge lider am dicksten ist; die doppelten Ringe entstehen mehr bei eine Drucke in der äusseren Augenecke, und zwar die regelmässigen *a*, bei einem Drucke gegen die untere Augenhälfte und die unregelmä sigen *f* bei einem Drucke gegen die obere Augenhälfte.

Bei hinreichend starkem Drucke kann man übrigens an jed Stelle einen regelmässigen Doppelring erzeugen.

Je dunkler der umgebende Raum ist, desto schärfer erscheinen d Ringe. Selbst wenn man im hellen Zimmer den Kopf verhängt, erschein die Ringe deutlicher. Am schwächsten ist die Erscheinung bei ganz g öffnetem Auge. Der allgemeine Lichtring der Netzhaut macht diesel also weniger empfindlich für jene Wirkungen des Druckes.

Ebendasselbe zeigt sich, wenn man die Netzhaut durch zu anhalten Experimentiren der Druckerscheinungen zu sehr aufregt. Die Lichtrin verlieren alsdann ebenfalls ihre Schärfe.

5. Ort der Lichtringe. Die Richtung, in welcher der Lic ring erscheint, liegt immer dem gedrückten Punkte des Auges diametr gegenüber. Drückt man also das Auge mit der Fingerspitze bei (Fig. 446); so erscheint der Ring bei *b*. Man überzeugt sich hierv leicht, wenn man den Ort *b*, wo man den Ring in dem geschlossenen Au zu sehen glaubt, mit der Spitze eines zweiten Fingers von aussen berüh bei Öffnung des Auges findet man, dass die Spitze des letzteren Finge der des ersteren diametral gegenübersteht.

Besonders gut und weit nach hinten ist vermöge der Form der .ugenhöhle die innere und äussere Augenecke zugänglich; weniger ut lässt sich ein Druck oben oder unten gegen das Auge anbringen. rückt man hier; so erscheint der Ring nicht vollständig. Drückt man B. bei geradeaus gerichteteter Sehaxe nach Fig. 447 an dem tiefsten unkte *a* des Auges; so erscheint oben nur ein Theil des Ringes *b*. Wälzt an aber die Augenaxe in die Höhe; so erscheint nach Fig. 448 der Ring ɔllständig.

Fig. 446.

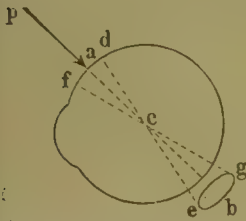


Fig. 447.

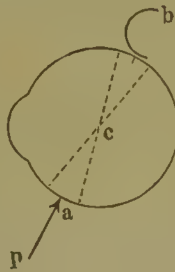
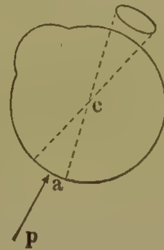


Fig. 448.



6. Organ, welches die Lichtringe hervorbringt. Drückt man ;s Auge an der Hornhaut; so entsteht kein Lichtring, und ein Druck ff die harte Haut an einer Stelle, welche der hinteren Grenze des Ziliar- rpers nahe liegt, erzeugt einen unvollständigen Ring oder ein Seg- ent, dessen geschlossene konvexe Seite der Augenaxe zugekehrt ist.

Aus den wesentlichen Momenten dieser Lichterscheinungen folgt un- eideutig, dass dieselben durch die unmittelbare Affektion der Netz- ut an der Druckstelle *a* entstehen, also in entgegengesetzter Rich- ıg erscheinen müssen, dass es auch die Netzhaut ist, welche sie eugt und dass demnach der Druck, welcher einen Lichtring hervorbrin- n soll, jenseit des Ziliarkörpers oder doch nahe an der Grenze des- lben angebracht werden muss.

7. Bewegung der Lichtringe. Hiermit steht auch die Beobach- ıg in Übereinstimmung, dass wenn man das Auge unter dem drücken- n Finger bewegt, der Lichtring sich ebenfalls bewegt und zwar in rselben Richtung, nämlich nach oben, unten, rechts, links, jenach- m die Pupille nach oben, unten, rechts, links rückt. Denn indem z. B. :h Fig. 449 die Pupille *d* abwärts nach *d'* rückt, vergrössert sich der Abstand *cb* des Lichtringes *b* vom Augenpole auf *c'b*: der Ring scheint also ebenfalls abwärts zu rücken.

Fig. 449.

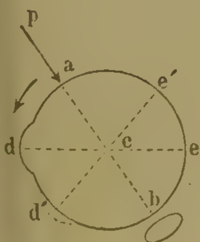
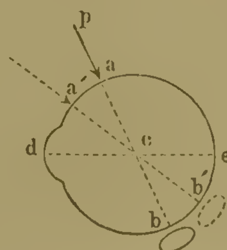


Fig. 450.



Anders ist es, wenn das Auge ruhend bleibt und der drückende Finger sich bewegt. Alsdann geht die scheinbare Bewegung des Lichtringes nach ent-

gegengesetzter Seite. Denn wenn in Fig. 450 (a. vor. S.) der Finger p vo a nach a' abwärts wirkt, bewegt sich der Lichtring b nach b' aufwärt

8. **Stellung der fragmentarischen Lichtringe.** Der Lichtrin erscheint auf der entgegengesetzten Seite der Druckstelle. Ausserdem is klar, dass sich die Erscheinungen, welche den Affektionen der einzelne Punkte der Druckstelle entsprechen, diametral umkehren, sodass i Fig. 446 die Affektion bei d eine Lichterscheinung bei e giebt, währen die Affektion bei f eine Lichterscheinung bei g erzeugt.

Hieraus ist auch klar, dass ein Druck an der Grenze des Ziliarkör pers ein Lichtsegment erzeugt, dessen konvexe Seite der Augenax zugekehrt ist.

9. **Allgemeine Form der Druckerscheinungen.** Über die For der Lichtringe im Allgemeinen ist noch Folgendes hervorzuheben.

Die Tendenz, eine kreisrunde Lichtfigur von bestimmte Durchmesser zu bilden, tritt mit frappanter Energie hervor. Allerding hat die Form des drückenden Körpers einigen Einfluss auf die Gestalt de Lichtfigur, aber einen viel schwächeren, als man vorher vermuthet. Ob ma mit dem Finger oder mit einem Nadelknopfe oder mit einer scharfen Kant oder mit zwei nahe zusammenliegenden Spitzen den Druck ausübt, o man denselben gegen das Augenlid oder gegen eine auf das Auge geleg weiche Decke ausübt, ist für die Lichtfigur nicht ganz, aber doch zien lich gleichgültig.

Wenn man sich die pralle elastische Kugel des Auges vergegenwä tigt, kann diese Beobachtung nicht überraschen. Eine so gespannte K gelmasse wird durch jeden Druck, dessen Intensität sich innerhalb gewi ser Grenzen hält, nahezu in derselben Weise geändert. Ein anschaulich Bild hiervon erhält man, wenn man irgend eine Muskelfläche in der Han am Arme, am Beine, welche man durch die Muskelkraft in gehörige Spa nung versetzen kann, in vorstehender Weise drückt. Man überzeugt sic dass die Formveränderung nahezu immer dieselbe bleibt.

Andererseits macht die Form des drückenden Körpers seinen Ei fluss, wenngleich in schwachem Grade, doch in rationeller Weise gelten

Der Druck mit einer langen Kante, dem Nagel des Fingers oder d Kante eines Kartenblattes, erzeugt einen etwas ovalen Ring, desse grosse Axe mit jener Kante parallel läuft. Ganz besonders aber bewirke die Ränder der beiden Augenlider, indem sie gegen die harte Haut g drückt werden, eine Verdopplung des ganzen Ringes oder einzeln Theile desselben, namentlich des leuchtenden Kernes. Diese Erscheinun tritt weniger stark hervor, wenn man den Druck in der inneren Auge ecke anbringt, weil hier die Thränendrüse ein dickes elastisches Polst bildet, in welchem sich die Pressungen der beiden Augenlidränder wied verschmelzen; sie tritt aber sehr deutlich hervor, wenn man den Dru in der äusseren Augenecke anbringt. Hier erzeugt sich die Fig. 445, der beiden sich durchschneidenden Ringe und auch häufig die Fig. 445, mit dem horizontalen und zuweilen gespaltenen Kerne. Übrigens brauc man, um diese Erscheinung hervorzubringen, nicht gerade auf die Auge lidspalte selbst zu drücken: ein Druck auf das obere Augenlid in d

usseren Ecke ist hierzu hinreichend, indem sich dieses Augenlid bei dem raglichen Drucke immer schief verzieht, sodass die Mitte des Fingers ein nderes Zentrum bildet, als der Rand oder die Masse des Augenlides.

Wenn man den Druck nicht auf das Augenlid, sondern direkt auf en Augapfel ausübt, z. B. mittelst eines dicken Nadelknopfes; so ist die ichtfigur kleiner, und nicht ganz so scharf und regelmässig, besitzt häuger statt der zwei scharfen Ringe einen leuchtenden Kern und in einiger ntfernung davon einen kreisförmigen Lichtschein nach Fig. 445, *d*.

10. Lichtringe auf entgegengesetzten Seiten. Bei hinreichend arkem Drucke oder wenn man das Auge durch fortgesetzte Affektionen izbarer gemacht hat, erscheint dem Lichtringe gegenüber ein zweir, jedoch viel matterer Ring, meistens in der Form einer leuchtenen Scheibe. Diese Erscheinung ist das Resultat des Gegendruckes er Augenhöhle gegen die gegenüberliegende Wandung des Auges.

11. Erklärung der Druckerscheinungen im Allgemeinen. Was e Erklärung dieser Lichtringe betrifft; so verdankt die Lichterscheiung durch mechanischen Druck ihre Entstehung unzweifelhaft dem Umande, dass jeder Druck und jede Spannung in einem organischen Gebilde it Vibrationen des Ponderabelen sowohl wie des Äthers begleitet ; und dass diese Erschütterung des Molekularsystems alle die Thätigiten hervorruft, deren jenes System überhaupt fähig ist. Denn Thätigit eines Systems von Kräften ist Nichts anderes, als die Wirkung, elche diese Kräfte nach den ihnen innewohnenden Gesetzen ausüben, bald ihr Gleichgewichtszustand aufgehoben ist. Bei einem ganischen Körper kommen zwar verschiedene Systeme von Kräften in tracht, mechanische, ätherische, chemische, vegetative, geistige: allein de Erschütterung, sei sie eine mechanische, kalorische, elektrische, emische oder irgend eine andere, hebt das Gleichgewicht jedes der dachten Systeme auf, nöthigt also ein jedes zu seiner spezifischen hätigkeit, wennauch das eine kräftiger und regelmässiger als das dere.

Demnach muss jede mechanische Erschütterung, jeder Druck auf das ge in den davon betroffenen Fasern des Sehnerven einen Lichtpross erwecken, und wegen der Allgemeinheit der Erschütterung wird eses Licht weisslich erscheinen, d. h. es werden alle Farbenozesse darin vertreten sein.

Das Wesentliche bei allen mechanischen Einwirkungen, welche Thägkeiten erzeugen sollen, ist nicht eigentlich der Druck oder die pannung, sondern die Bewegung oder vielmehr die Arbeit, d. h. e Bewegung unter Druck. Wie der mechanische Druck, wenn er nsibele Organe betrifft, meines Erachtens nur durch einen gewissen ibrationszustand, welcher auf die Nervensubstanz übergeht, fühlr wird, ebenso erzeugt derselbe in den obigen Fällen, wo er sich auf nsuelle Organe äussert, die Gesichtserscheinungen nur durch endieselben Vibrationen, welche die spezifischen Lichtschwingungen eser Nerven im Gefolge haben.

Diese aus der Analogie aller verwandten Naturerscheinungen folgend Annahme erläutert folgende Wahrnehmungen.

Wenn man den Druck auf das Auge mit gleichmässiger Stärke fort *dauern* lässt; so *verschwindet* allmählich der *Lichtring*. De *schwarze Fleck* macht sich viel länger bemerkbar, da derselbe (wi wir weiter unten näher begründen werden) auf der Verdrängung de Blutes beruht, welches die unter Druck gehaltenen Gefässe nur schwac durchdringen kann.

Wenn man den Druck auf das ganz ruhig gehaltene Auge nicht ziem lich rasch, sondern mit sehr *allmählicher* Kraftsteigerung ausübt; s entsteht *kein Lichtring*, wohl aber ein *schwarzer Fleck*.

Am *glänzendsten* werden die Lichtringe, wenn man das Aug mit dem drückenden Finger *reibt*.

Bei den Druckphänomenen spielt übrigens das *Blut* in der Ader haut und allen übrigen der Netzhaut nahe liegenden Theilen des Auge eine wesentliche Rolle mit. Die Anwesenheit des Blutes an der Spitze de in Thätigkeit zu versetzenden Stäbchens ist zur Hervorbringung diese Thätigkeit unbedingt nothwendig. Eine *Absperrung* der betreffende Kapillare der Aderhaut *vernichtet* also jede Lichtthätigkeit der betref fenden Nervenfaser, eine *Vermehrung* der Blutzufuhr, namentlich ei übermässiger *Blutandrang erhöht* diese Thätigkeit und ist sogar be genügender Heftigkeit *allein* im Stande, dieselbe *hervorzurufen*.

Diese Erweckung der Lichtthätigkeit durch das *Blut* geschieht abe auf zwei verschiedene Weisen: einmal durch die *chemische Reaktio* zwischen Blut und Nervensubstanz und ausserdem durch die *mechani sche Erschütterung*, in welche die Stäbchen in Folge des *Drucke* und der *Pulsationen* der überfüllten Adern versetzt werden. Dies beiden Wirkungen des Blutes werden in der Regel Hand in Hand gehen denn der *Chemismus* wird da am *stärksten* wirken, wo das *meist* Blut sich anhäuft, also auch den stärksten *Druck* ausübt, und an diese Stelle werden auch zugleich die *Pulsationen* am heftigsten werden.

12. Spezielle Erklärung der Form der Lichtringe. Durch Vor stehendes ist die allgemeine Ursache der Lichterscheinungen, aber noc nicht ihre spezielle *Form* erklärt.

Die intensiver leuchtenden Stellen der Lichtfigur, welche der inten siveren Thätigkeit der Netzhaut angehören, müssen theils denjenige Stellen des Augapfels entsprechen, an welchen die über der Netzhaut lie genden Häute durch den äusseren Druck energischer affizirt werden theils denjenigen Stellen, an welchen in Folge des äusseren Druckes da *Blut* der Aderhaut mehr *angehäuft* wird. Solche Stellen, wo das Blu *verdrängt* wird, müssen *verdunkelt* erscheinen, selbst wenn sic daselbst ein ungewöhnlicher *mechanischer Druck* gegen die Stäbche äusserte.

Zunächst entsteht durch den äusseren Druck eine Kompression alle Häute, auch der Netzhaut, in *normaler* Richtung zu ihrer Kugelober fläche, welche im Mittelpunkte des Druckes am stärksten ist und sic seitwärts immer mehr verliert.

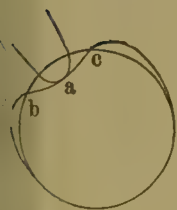
Da gleichzeitig aus der Sphäre des Druckes das Blut verdrängt wird

stehen sich zwei entgegengesetzt wirkende Kräfte gegenüber, von welien lokal die eine die andere überwiegen kann. Im Zentrum scheinen e durch Druck hervorgerufenen Ätherschwingungen die durch Blutmanl veranlasste Herabstimmung der Nerventhätigkeit zu überwiegen und n im Allgemeinen schwach leuchtenden Kern zu erzeugen. Bei starkem rucke werden die Stäbchen im Zentrum der Druckfläche nicht egeneinander, sondern auseinander gedrängt, die Aderhaut wird er in den Richtungen ihrer Oberfläche nicht komprimirt, sondern usgedehnt; trotz der in normaler Richtung auf der Oberfläche der lerhaut erfolgenden Pressung, wodurch der Durchfluss in manchen Adern hemmt wird, kann also einzelnen Kapillaren oder dem ausschwitzenden ute mehr Spielraum gewährt werden, als in einiger Entfernung von nem Zentrum. Demgemäss kann sich in der Mitte der Druckfigur ein ichtschein von mässiger Intensität bilden und es ist auch möglich, ss sich in diesem Scheine unter geeigneten Umständen glänzendere iguren auszeichnen.

An den Bezirk nahe um das Zentrum der Druckfigur schliesst sich ne Sphäre, in welcher der Blutmangel die vorherrschende Wirkung ssert, also eine ungewöhnliche Dunkelheit erzeugt. Jenseit der häre des verdrängten Blutes findet Anhäufung von Blut statt, wenigens wird hier die lichterzeugende Wirkung der Kompression nicht gehmälert, und in Folge dessen erzeugt sich in weiterem Umkreise ein uchtender äusserer Schein, dessen Intensität sich allmählich verliert.

Indem der Augapfel nach Fig. 451 gedrückt wird, wulstet sich die rte Haut, die Aderhaut und die Netzhaut rings um die Druckstelle herum auf. In diesem Wulste entspricht ein Ring vom Durchmesser *bc* denjenigen Stellen, in welchen die Krümmung dieser Häute ihr Maximum hat. Hier wird also auch die Kompression parallel zu den Oberflächen der Häute am grössten sein und es wird auch diese Stelle dem Orte entsprechen, wo sich das aus der Mitte verdrängte Blut am meisten anhäuft. Es vereinigen sich also hier die Ursachen, um dem einen hellen Lichtringe und dem äusseren Lichtscheine ihr Dasein zu geben.

Fig. 451.

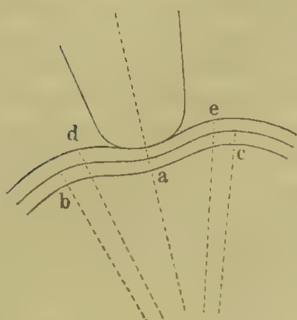


Da der Augapfel von mehreren übereinander liegenden Häuten geldet wird, welche, wie die harte Haut, die Aderhaut und die Netzhaut, cht absolut fest miteinander verbunden sind, also relative Verschiebunn gestatten, und von denen ausserdem eine jede ihr besonderes Gefässstem hat; so ist klar, dass bei der Wulstung mehrerer solchen Häute e Ringe der Maximalaffektionen nicht immer ineinander fallen werden d dass die Verschiedenheit umso stärker hervortreten wird, je grösser r Druck oder die Deformität wird. Namentlich wird das Verhalten der rten Haut in der darunter liegenden Aderhaut einen zweiten Ring (Fig. 452 a. f. S.) grösster Blutansammlung erzeugen, welcher mit dem r Krümmung der Aderhaut entsprechenden ersten Ringe *bc* nicht zusamnfällt.

Der Ring *dc* erzeugt den zweiten leuchtenden Ring. Im Allmeinen wird derselbe innerhalb des Ringes *bc* liegen, und in der

That sieht man bei allmählich wachsendem Drucke erst den äusseren Ri und später den inneren Ring entstehen, indem die mit der besonder Aufwulstung der harten Haut verbund Trennung der Affektionsringe sich erst stärkerem Drucke und der daraus herv gehenden Verschiebung der Häute gelte machen kann.

Fig. 452.



Jenachdem man den Druck direkt geg die harte Haut oder gegen das Augen ausübt, jenachdem man im letzteren Fa auf den vom Augapfel ganz getrennten Th oder auf den damit verwachsenen Theil, a den dünnsten oder auf den fleischigsten Th in den Augenecken oder auf den Rand d Augenlides, jenachdem man mit dem Fing oder mit einem kleinen Knopfe drückt, jenachdem man durch Zerru der Augenlider oder sonstige Einwirkungen auf den Augapfel besond Affektionen hervorbringt, kann man die Gestalt der Druckfigur etw ändern: die Prallheit des Augapfels bewirkt jedoch, dass diese Än rungen immer relativ unbedeutend ausfallen.

Die Ansammlung des Blutes an einzelnen Stellen und Ringen ist Zustand, welcher der normalen Thätigkeit der Adern widerspricht u welcher mit der Zeit von selbst verschwindet, indem das angehäufte B nachundnach abgeführt wird, ohne dass der betreffenden Stelle, welc nur durch verengte Adern zugänglich ist, ein Übermaass von Blut wie zugeführt wird. Ebenso dringen in die Stellen, aus welchen das Blut v trieben ist, allmählich schwache Blutmassen ein: so sehen wir eine Ste unserer Haut, aus welcher wir durch mässige Pressung oder Zerrung d Blut vertreiben und welche demzufolge weiss erscheint, nachundnach si etwas röthen.

Hieraus ist klar, dass die Druckfigur, welche einem mässigen Druc ihre Entstehung verdankt, allmählich verschwindet, wenn der Druck fo dauert und dass dieselbe nur dadurch lebhaft erhalten werden kann, da der drückende Finger auf dem Auge bewegt wird.

13. Druckerscheinungen bei Tageslicht. Wenn man bei Ta das geöffnete Auge drückt; so erscheint dieselbe Figur, nur vermö des im Auge vertheilten Lichtes mit geringerer Leuchtkraft. Beachten werth hierbei ist nur, dass die nicht leuchtenden Flächen zwisch und innerhalb der Ringe dunkler erscheinen, als die Umgebung d erhellten Auges. Die ganze Erscheinung hat jetzt mehr das Ausseh einer schwarzen Scheibe. Überhaupt zeichnen sich auch im g schlossenen Auge und in ganz finsterem Raume jene Flächen dur ihre intensive Schwärze aus. Der Grund hiervon könnte zuvörde darin gesucht werden, dass fortwährend etwas Licht durch die Augenlid und die Hornhaut in das Auge dringt, welches die Netzhaut von ihr Rückseite her affizirt, dass aber dieses Licht bei der Berührung m dem Finger von der Druckstelle abgehalten wird. Indessen muss ma diese Hypothese in Betracht folgender Gründe fallen lassen. Es zei

h eine fast ebenso grosse schwarze Fläche, gleichviel ob man das Auge ; der breiten, also viel Licht versperrenden Fingerspitze, oder nur ; einer Nadelspitze drückt; ferner markirt sich die Schwärze der glichen Fläche sogar in finsterer Nacht, wo es kein abzusperren- ; Licht giebt und in diesem Zustande erscheint das Innere des Auges cht absolut schwarz; endlich aber erscheint selbst bei Tage in n offenen und dem Lichte zugekehrten, also vollständig erhellten Auge Folge des Druckes eine dunkle Fläche.

Als zweiter Erklärungsgrund drängt sich die Vermuthung auf, dass ; der mechanischen Pressung der Netzhaut eine Lähmung ihrer Ner- thätigkeit und damit Verdunklung verbunden sein könnte. Allein se Vermuthung wäre ein direkter Widerspruch gegen die Thatsache, s diese Pressung Licht erzeugt, und dass die Lichterscheinungen an ı am meisten gedrückten Stellen (dem Zentrum und den Ringen) lebhaftesten ist.

Der letztere Grund ist daher so gut wie der erstere zu verwerfen. Beziehung auf den ersteren; so schreibe ich von der Helligkeit, welche Tage in dem geschlossenen Auge herrscht, nur einen Theil dem Lichte welches durch die Augenlider und die Hornhaut in die Pupille dringt, einen anderen Theil aber der Blutbewegung in der Ader- ıt, und dieser Theil ist auch im finsteren Raume wirksam. Durch ıck wird das Blut aus einer gewissen Sphäre verdrängt und diese lle erscheint alsdann dunkler als die übrige Augenwand. Die Ver- ngung des Blutes aus der gedrückten Fläche des Augapfels ist ganz log dem Vorgange, welchen man beobachtet, wenn man irgend einen hlich erscheinenden Körpertheil mit dem Finger drückt: das augen- kliche Weisswerden einer kreisrunden Scheibe an der gedrückten Stelle die unmittelbare Folge jener Verdrängung.

Dass lange anhaltender und sehr starker Druck endlich ı eine Lähmung der Nerventhätigkeit und damit Verdunklung herbei- en kann, ist selbstverständlich und entkräftet nicht die vorstehende ahme für die in Rede stehenden schwachen Pressungen.

Schliesslich mache ich noch darauf aufmerksam, dass man mit der ückten Netzhautstelle undeutlich sieht. Hiervon kann man sich zeugen, wenn man bei Tage das geöffnete Auge drückt und ein Ob- beobachtet, welches in den dunklen Fleck fällt.

Die Verdunklung und Verundeutlichung des Gesichtsfeldes bei andlung von Ohnmachten, Schreck und solchen Affektionen, welche einer Verminderung der Blutthätigkeit am Kopfe beruhen und Gesichtsblässe begleitet sind, wird auf derselben Ursache beruhen, he nach Vorstehendem die Hauptfläche der gedrückten Netzhautstelle unkelt.

14. Erscheinungen bei dauerndem Drucke. Wenn der Druck n das Auge ununterbrochen fortdauert; so ist der Hergang im ge- lossenen Auge folgender. Allmählich und ziemlich bald verschwinden obigen Lichtringe und es entspinnt sich ein allgemeines Leuchten im e. Besonders stark wird dieses Leuchten an der Stelle, welche dem trittspunkte des Sehnerven (der *macula cocca*) entspricht, welche

also in dem Gesichtsfelde auswärts von der Sehaxe zu liegen sch (indem im Auge selbst jener Punkt einwärts von der Axe liegt). Ü gens markirt sich, wenngleich schwächer, auch der Pol der Sehaxe, der Bezirk des deutlichen Sehens (die *macula lutea*) durch stärk Leuchten. Die Lichterscheinung an diesen beiden Stellen bildet n immer einen hellen Fleck, sondern häufig einen breiten leuchten Kranz mit dunklem Mittelpunkte. Der Aderkranz, welcher wohl die Warze des Sehnerven (*papilla nervi optici*), als auch den Be des deutlichen Sehens, den Pol des Auges, umzieht und in welchem das aus dem Augapfel verdrängte Blut anhäuft, giebt unzweifelhaft Veranlassung zu diesen Erscheinungen. Ist der Druck ziemlich mitten die Hornhaut gerichtet; so gestaltet sich der Lichtschein um den S nerven ziemlich konzentrisch als Scheibe oder nach Fig. 453 Kranz: ist der Druck dagegen schräg gegen das Auge gerichtet, be ders von der Seite; so wird dieser Schein mehr exzentrisch, nir häufig die Gestalt einer Sichel (Fig. 454) oder eines Bruchstü davon an.

Fig. 453.

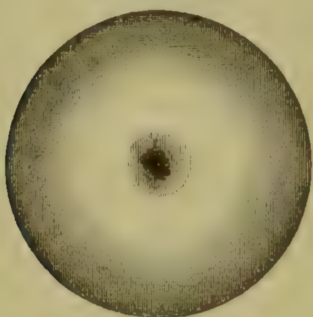
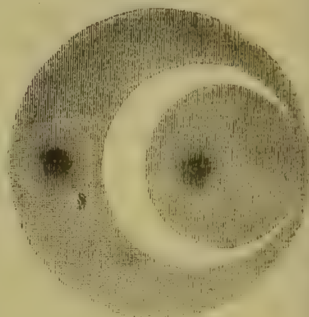


Fig. 454.



Gleichzeitig mit der Ausbildung dieser beiden Hauptfiguren entste im Auge, namentlich um den Pol herum, zahllose flimmernde Lic figuren, meistens wie kriechende und sich durcheinander schlänge fadenförmige Lichtwürmer, zuweilen aber auch wie momentan auf chende Tapetenmuster oder Mosaikbilder gestaltet. Auch der Licht Fig. 453 oder die Sichel Fig. 454 nehmen zuweilen das Ansehen e mosaikförmig oder einer aus zackigen Elementen gebildeten Figur namentlich wenn man das Auge durch Veränderung des Druckes ersc tert. Ausserdem entstehen hier und da grössere Lichtflecke, welche wi verschwinden oder das Gesichtsfeld streckenweise durchziehen. Es schie auch glänzende und kräftige Blitze durch das Gesichtsfeld, beson wenn man das Auge bewegt. Alles Dieses scheint von der gewalt gestörten Blutbewegung herzurühren. Da aber nach meiner Ansicht m die mechanische Erschütterung der Stäbchenschicht durch die Blutbe gung, als die chemische Wirkung des Blutes die Affektion bewirkt; so erklärlich, dass alle diese Lichterscheinungen nicht in rothem, sond in gelblich weissem Lichte erglänzen.

Die beiden Hauptfiguren verwandeln sich zuweilen in ihr Gegentl d. h. der helle Kranz wird dunkel und der dunkle Kern beginnt zu g

Nach einiger Zeit kehrt jedoch der frühere Zustand wieder zurück, beim Abklingen der Nachbilder, welche wir in §. 66 kennen ler- werden. Die Farbe der Lichtfigur um den Sehnerven verwandelt sich ilen aus dem gelblichen Weiss in ein grünliches Weiss.

Hält man das Auge während des fortgesetzten Druckes offen; so unkelt sich allmählich das Gesichtsfeld, die Fähigkeit das Auge zu ommodiren ist schon von vornherein beschränkt, man kann über- t in keiner Entfernung scharf sehen; aber es verliert sich auch ählich die Fähigkeit zu sehen überhaupt. Während die hellen Ob- immer lichtschwächer werden, verbreitet sich über das ganze Ge- sfeld ähnlich wie im geschlossenen Auge ein Lichtschimmer. Die von Sonne erhellten Theile des Gesichtsfeldes nehmen, indem sie sich ver- eln, eine grünliche Farbe an, welche späterhin zuweilen in eine liche übergeht: man glaubt, es fixire sich die Farbenerscheinung, welcher ohnmächtig oder schwindlig gewordene Personen reden, wenn agen, es sei ihnen grün und blau vor den Augen geworden. Da Phänomene einem Blutmangel im Auge ihr Dasein verdanken die Blässe des Ohnmächtigen lehrt, dass das Gesicht von Blut ent- wird, wennauch gewisse Gehirnpartien sich überfüllen); so ist es lich, dass sie die unmittelbare Ursache der nämlichen Wirkung sind. ich verschwinden übrigens auch die hellen Theile des Gesichtsfeldes tändig, das Feld wird ganz schwarz, bis auf den von der abnormen bewegung in einzelnen Stellen des Auges herrührenden, vorhin be- ebenen Lichterscheinungen, welche gelblich weiss sind.

Ich bemerke noch, dass sich in Folge des Druckes gegen das Auge Pupille erheblich erweitert, was man der durch die Verdrängung Blutes erzeugten Lähmung der Netzhaut zuschreiben kann.

Nachdem der Druck vorüber ist, sieht man mit der gedrückten schlechter; sie befindet sich in einem Zustande, wie wenn sie ge- det wäre. Hat der Druck lange angehalten, also die ganze Netz- affizirt; so ist das ganze Auge wie geblendet.

§. 62.

Wirkliche und scheinbare Bewegung.

1. Wirkliche Bewegung des Objektes und eigene Bewegung Körpers. Unter wirklicher Bewegung eines Gegenstandes wollen hier nicht die absolute verstehen, von welcher ja bei der Unkennt- der wahren Bewegung unseres eigenen Körpers im absoluten Raume keine Rede sein kann, sondern die Bewegung eines sichtbaren Objek- m Gegensatze zu der auf der Bewegung unseres eigenen Auges oder ers beruhenden scheinbaren Bewegung desselben.

Der sensuelle Apparat des Auges oder der Gesichtssinn giebt nur Zeugniss über die relative Stellung und Bewegung, he zwischen den Objekten der Aussenwelt theils in Beziehung aufein- r, theils in Beziehung auf unseren Körper oder dessen Haupt- stattfindet. Eine jede solche relative Bewegung erscheint uns

als eine objektive, als eine wirkliche Bewegung der Objekte, weit das Urtheil darüber vom Gesichtssinne abhängt.

Über die Stellungen und Bewegungen unseres Körpers oder uns Auges in Beziehung zu den Hauptrichtungen oder vielmehr zu sol Dimensionen der Aussenwelt, zu welchen unser Körper in einer natu setzlichen Verbindung steht (z. B. in Beziehung zur Vertikalen möge der Schwere) oder zu welchen er sich durch freiwilligen schluss in eine augenblickliche selbstbewusste Lage gebracht hat, g uns lediglich der Gefühlssinn Rechenschaft, welcher hierzu verm der mechanischen Muskelbewegung und Muskelanstrengung oder verm anderer Affektionen der sensibelen Nerven (durch das Blut u. s. befähigt wird.

Wenn weder das Gesicht, noch das Gefühl allein, sondern b gemeinschaftlich wirken; so entstehen die leicht zu abstrahiren gemischten Wirkungen.

Hiernach erzeugt nun die wirkliche Bewegung eines äusseren Ob tes, wenn Auge und Körper vollkommen ruhig gehalten werden, die V stellung einer wirklichen Bewegung. Fände das Umgekehrte st erzeugte nämlich die wirkliche Bewegung eines Objektes das Gefühl e eigenen Bewegung (in entgegengesetzter Richtung), wie es zuwe dem Reisenden auf der Eisenbahn wiederfährt, der sich in einem still henden Wagen befindet, an welchem ein anderer Wagenzug vorüberfä so liegt hier nicht eine optische Täuschung, sondern eine Gefül täuschung vor, auf welche wir weiter unten zurückkommen werden.

2. Scheinbare Bewegungen. Die Fälle der wirklichen Be gung bieten, solange sie den Eindruck wirklicher Bewegungen mac wie es fast immer der Fall ist, nichts besonders Bemerkenswerthes Anders dagegen die eigenen Bewegungen, welche zu vielfachen T schungen Veranlassung geben.

Das Muskelgefühl, welches den geistigen Eindruck der eige Körper- und Augenbewegung, sowie der eigenen Körper- und Augens lung erzeugen soll, leidet in Beziehung auf seine Ergänzung des sichtes an drei hauptsächlichen Unvollkommenheiten: erstens ist dass nicht fein genug, auch nicht stabil genug, indem es sich bei anhal der Spannung desselben Muskels allmählich verliert, ausserdem n kräftig und selbstständig genug, um nicht durch andere Affektio des Körpers, namentlich die Bewegung und Reaktion des Blutes le gestört oder irregeführt zu werden; zweitens ist dasselbe an gewisse W kungen der Natur geknüpft, welche sich mit Ort und Zeit ände namentlich an die Wirkung der Schwere, welche mit der Rotation Erde und mit der Veränderung des Standpunktes auf der Erde ihre R tung ändert, also variabel nach allgemeinen Gesetzen; dritt ist das Muskelgefühl, da es in höchster Vollkommenheit nur die Verä rungen unseres Körpers oder Auges gegen einen einzigen als fest dachten äusseren Punkt, den soeben mit dem Auge fixirten Punkt z Bewusstsein bringen kann, auch aus geometrischen Gründen u zulänglich, alle mit Körperbewegungen verbundenen optisch Effekte zu vernichten oder zu neutralisiren.

Aus dieser Unvollkommenheit des Gefühles entspringen nun man-
ei optische Täuschungen oder scheinbare Bewegungen.

Wenn die Bewegung im Eisenbahnwagen sanft genug ist, giebt uns
Gefühl keine Rechenschaft davon: die seitwärts ruhig liegenden Ob-
scheinen daher in entgegengesetzter Richtung der Fahrbewegung
uns vorüberzueilen. Der bei ruhiger Luft vertikal herabsinkende
e oder Regen scheint, aus dem Eisenbahnwagen gesehen, in schräger
ung von vorn nach hinten, wie vom Winde gepeitscht, niederzufallen.

Am gründlichsten, ja absolut werden wir über diejenige eigene Bewe-
getäuscht, welche mit der Bewegung der Erde und des Sonnensystems
mmenhängt. Theils empfinden wir hierbei die geometrische Verände-
des Ortes und der Richtung gar nicht, theils ändert sich hierbei
nige Richtung, welche unser Gefühl für die vertikale Hauptaxe
für die horizontale Ebene erklärt, d. h. unser Gefühl adoptirt
ir fortwährend eine andere Richtung.

Demgemäss verwandeln sich alle planetarischen Bewegungen
eres Körpers in scheinbare Bewegungen der Gestirne.
u gehört der tägliche Kreislauf der Gestirne, die jährliche Bewegung
onne innerhalb des Thierkreises, die jährliche Parallaxe der Fix-
e (bei welcher sich die Ätherbewegung des Lichtstrahles mit der Be-
ng der Erde in der Erdbahn zusammensetzt) und viele anderen astro-
schen Bewegungserscheinungen.

3. **Wirkung der eigenen Bewegung des Auges.** Die eigene
gung wird nur in seltenen Fällen mit hinreichender Reinheit als
e Bewegung erkannt oder empfunden. Wo Diess der Fall ist, wird
it der eigenen Bewegung verbundene Veränderung des Netzhautbil-
urch das Muskelgefühl bei der Erzeugung der geistigen Vorstellung
tändig aufgehoben werden, sodass das ruhende äussere Ob-
trotz der Veränderung der Affektion der Netzhaut in
kommener Ruhe zu verharren scheint, also überall keine
gung sichtbar, sondern nur fühlbar ist.

Am besten sind die hierzu erforderlichen Bedingungen erfüllt, wenn
Kopf und übrige Körper ruht und nur das Auge um seinen Mit-
unkt sich dreht. Bei dieser eigenen Bewegung behalten alle Objekte
gesammten Gesichtsfeldes ihre relative Lage gegeneinander
es handelt sich nur um eine Gesammtverrückung dieses Bildes,
um eine Drehung der scheinbaren Hauptaxen um denselben Punkt,
elchen die wirkliche Bewegung erfolgt. Es ist klar, dass die dieser
derung des Netzhautbildes entsprechende scheinbare Bewegung
lie daraus resultirende Affektion des Gehirnes durch das sensuelle
ensystem von der aus der wirklichen Bewegung entspringenden
tion des Gehirnes durch das sensibele Nervensystem vollstän-
neutralisirt werden kann. In der That hat die Bewegung der
en im Kopfe keine merkliche scheinbare Bewegung der Ob-
zur Folge.

Freilich wird hierbei in aller Strenge nur der Gebrauch eines ein-
n Auges vorausgesetzt. Beim Sehen mit zwei Augen entsteht bei
Bewegung der Augen, weil jedes sich um seinen eigenen, also um

einen anderen Mittelpunkt dreht, eine gewisse Bewegung der Objek welche besonders bei der Veränderung der Sehweite hervortritt, ind sich dann die zwei Bilder jedes Objektes trennen und auseinan fahren.

Ebenso hat die Bewegung des Auges keinen Einfluss auf die Vors lung von den Richtungen und Stellungen der äusseren Objekte geg die Hauptaxen der Aussenwelt. Richten wir z. B. die Augenaxe aus horizontalen Lage nach einem höheren Punkte empor; so macht das der früheren Richtung der Augenaxe, nämlich in der wirklichen Ho zontalen liegende Objekt, obgleich sein Bild jetzt auf einen ganz an ren Punkt der Netzhaut fällt, gleichwohl fortwährend den Eindruck ei in horizontaler Linie liegenden. Wir sind uns vermöge des Muskel fühles der veränderten Stellung der Augenaxe gegen die Vertikale wusst, und die Zusammenwirkung der sensibelen Nerven mit den sensu len erzeugt die richtige Vorstellung von der Lage jenes Objektes, ind das Muskelgefühl den veränderten optischen Eindruck beim Eintr in das Bewusstsein so modifizirt, dass die frühere richtige Vorstellung d selbe bleibt.

4. Wirkung der eigenen Bewegung des Kopfes und Körpe Ganz anders wirken Bewegungen des Kopfes oder des übrigen Körpe bei welchen der Mittelpunkt des Auges sich verrückt. Diese eigenen wegungen sind immer mit scheinbaren Bewegungen der Aussenw verbunden, jedoch keineswegs immer in derselben Weise.

Bei der Bewegung des Kopfes giebt uns nämlich das Gefühl Rech schaft von der Veränderung, welche die Hauptaxen unseres Körpers ge die augenblicklich als Hauptaxen figurirenden Axen der Aussenwelt er den. Soweit diese Veränderung mit der optischen Wirkung in Verb dung gebracht werden soll, kömmt davon nur derjenige Antheil in tracht, welcher die Veränderung in Beziehung zu dem vorher optis fixirten Punkte betrifft, da der Gesichtssinn nicht die Fähigkeit besi eine ausgedehnte Vielheit von Objekten mit gleicher Schärfe, sondern einen einzigen Punkt mit vollster Deutlichkeit zum Bewusstsein a geometrischen Beziehungen zu bringen.

Hiernach kann bei der Bewegung des Kopfes das Muskelgefühl in Beziehung auf einen einzigen Punkt den optischen Effekt vollstän aufheben. Bei dieser Bewegung scheint also nur der fixirte Punkt ruhen, alle übrigen Objekte der Aussenwelt nehmen scheinbare Bew gungen an. Da wir nun bei der Bewegung unseres Körpers nach Be ben dieses oder jenes Objekt fixiren können; so sind wir im Stande, derselben eigenen Bewegung die scheinbare Bewegung der Auss welt zu modifiziren.

Gehen wir z. B. eine Baumallee entlang; so scheinen bei gerade gerichtetem Blicke die seitwärts nahe stehenden Bäume mit der Geschw digkeit unseres Ganges und alle entfernteren Objekte mit geringerer schwindigkeit sich nach hinten oder rückwärts zu bewegen. Fixi wir jedoch beim Vorübergehen einen dieser Bäume; so scheint derse ruhig zu stehen: dagegen bewegen sich jetzt scheinbar die entfernte Objekte in der Richtung unseres Ganges oder vorwärts. Fixi

einen jenseit der Allee liegenden Gegenstand; so scheint derselbe zu ien, die Bäume scheinen rückwärts und die entfernteren Objekte wärts zu gehen. Fixiren wir den entferntesten sichtbaren Gegenstand Seite; so wandern Bäume und alle anderen Objekte rückwärts.

Blicken wir durch eine mit Staub oder anderen kleinen Figuren bete Glasscheibe und drehen den Kopf in einem vertikalen Kreise um; so rotiren, wenn wir ein jenseit der Scheibe liegendes Objekt fixi-, die Staubfiguren scheinbar in entgegengesetzter Richtung der fbewegung: wenn wir dagegen eine Staubfigur auf der Glasscheibe ein vor der Glasscheibe liegendes Objekt fixiren, rotiren scheinbar Gegenstände der Aussenwelt in der direkten Richtung der Kopfegung.

Wenn bei der eigenen Bewegung das Muskelgefühl fehlt, wie . bei der Umdrehung der Erde oder bei einer sanften Bewegung in m Bahnzuge; so treten die schon vorhin besprochenen scheinbaren egungen ein. In manchen Fällen sind wir im Stande dieselben zu lifiziren, jenachdem wir dabei dieses oder jenes Objekt fixiren.

So scheint dem Eisenbahnreisenden beim Blicke durch das Fenster die gegend sich nach rückwärts zu bewegen. Diese Bewegung ist umso der, je mehr man sich in das Koupee zurückzieht und die im Koupee st befindlichen Gegenstände fixirt, also auch das Auge möglichst ruhig . Hält man das Auge so nahe an das Fenster, dass man von den mitnden Gegenständen wenig sieht, und fixirt nun mit möglichster Kraft n festen äusseren Gegenstand, welcher das Auge zu einer der Fahrgewindigkeit entsprechenden Drehung nöthigt; so kann man es bald dabringen, dass dieser Gegenstand zu ruhen und jeder andere, sowie eigene Wagen mit uns selbst sich nach den zuletzt erwähnten Vernissen zu bewegen scheint.

Auf diese Weise kann man auch die einzelnen Stäbe eines neben der n stehenden Staketes, welche, wenn das Auge parallel mit sich selbst getragen wird, ineinanderfliessen und unsichtbar sind, zu sehen bemen. Man braucht zu diesem Zwecke nur das Auge mit entsprechen- Geschwindigkeit rückwärts zu drehen oder einen Stab zu fixiren. Da das Fixiren eines solchen Stabes eben desshalb schwer ist, weil man, der Effekt erreicht ist, noch keinen Stab sieht; so braucht man nur n nahe an dem Staket stehenden isolirten Körper, z. B. einen Baum, ixiren.

5. **Äussere Bedingung für die Täuschung über die wirkliche vegung.** Die Möglichkeit einer vollständigen Täuschung er Art setzt nach Obigem zwar nur voraus, dass die eigene Bewegung der Art sei, dass sie in geometrischem Sinne auch genau durch eine egengesetzte Bewegung der Aussenwelt ersetzt werden kann: die chtigkeit der Wahrscheinlichkeit einer solchen Täuschung ver-t aber, dass in der Umwandlung jener Bewegung nicht ein Bewegszustand ausgesprochen sei, welcher nach menschlicher Auffassung iatürlich ist. Demnach entstehen solche Täuschungen wenigstens in den Fällen, wo die Aussenwelt in zwei Komplexe, deren einem selbst angehören, getheilt ist und jeder Komplex mit allen seinen Ele-

menten sich geradlinig nach irgend einer Richtung oder mit dem a deren Komplexe um einunddenselben Mittelpunkt bewegt.

Unvollständig und nicht so leicht ist hiernach die Täuschung üb die wahre Bewegung in einem Eisenbahnzuge, wenn man ausser den p rallel sich bewegenden Gegenständen rotirende, also Wagenräd sieht, weil die Verwandlung eines laufenden Wagens, dessen Räder w sehen, in einen ruhenden die deutliche Vorstellung erforderte, dass si die Erde mit dem Schienengleise unter dem Wagen hinwegschöbe u durch die Reibung die Räder in Rotation versetzte, ohne do den Wagen selbst mitzunehmen, was ein Festhalten des W gens durch unsichtbare Hand voraussetzte.

Ebenso ist es schwer, ja vielleicht unmöglich, sich in einem v Winde bewegten Baume ein einzelnes Blatt als ruhend zu denken, al die wirkliche Bewegung desselben auf eine eigene Bewegung unseres K pers zu übertragen, weil Diess nicht bloss eine sehr ungewöhnliche p dulirende Bewegung unseres Körpers, sondern auch eine unerhörte Bew gung des ganzen Baumes mit der Erde um jenes Blatt voraussetzen wür

6. **Gefühlstäuschung über die eigene Bewegung.** Wenn uns eigener Körper ruht; so kann ein vorübereilender Gegenstand, wenn w ihn kräftig fixiren, den Eindruck machen zu ruhen, während w selbst uns nach entgegengesetzter Seite zu bewegen gla ben. Diese Erscheinung kömmt zuweilen auf der Eisenbahn vor, we an dem stillstehenden Zuge, in welchem wir uns befinden, ein ander vorüberfährt, dessen Räder wir nicht sehen. Wir müssen alsdann u überreden, die Bewegung unseres Körpers sei so sanft, dass wir sie nic empfinden. Diese Erscheinung beruht also, wie schon vorhin erwähnt, a eine Gefühlstäuschung.

Ebenso wird bei langsamen Bewegungen verschiedener Objek leicht eine Täuschung dadurch hervorgerufen, dass wir die wirkliche B wegung des einen auf eine eigene Bewegung übertragen, welche wir al wegen ihrer Langsamkeit vernachlässigen, sodass wir fortwährend ruhen glauben, obgleich sich die relative Bewegung der Objekte modifizi

So kann es bei der Betrachtung der Wolken, welche sich in v schiedenen Richtungen oder theilweise gar nicht bewegen, sich ereign dass wir eine ruhende Wolke für bewegt oder eine bewegte Wolke f ruhend halten.

Da nach unserem Hauptsatze der Gesichtssinn nur relati Stellungen und Bewegungen der äusseren Objekte gegen si und gegen uns erkennen lässt, während die Erkenntniss der Stellung und Bewegungen unseres Körpers gegen die Hauptrichtungen d Aussenwelt durch das Gefühl vermittelt wird, die Zusammenwi kung dieser beiden Sinne aber die geistige Vorstellung von der E scheinung erweckt, also die Zerlegung eines Bewegungsphänomens wirkliche und eigene Bewegung zu Stande bringt; so ist klar, da in solchen Fällen, wo das Gefühl gar nicht angeregt wird, die Bewegu nur als eine wirkliche erscheint, bei welcher wir selbst zu ruh glauben (wie z. B. bei der Fortschrittsbewegung der Erde in ihrer Bah ferner dass jede Täuschung des Gefühls die scheinbare Bew

ng und auch die Vorstellung von der eigenen Bewegung modifi-
·t, sodass wir unter Umständen die wirkliche Bewegung ganz und gar eine eigene verwandeln können, endlich dass wenn die Grundbedingen für die Orientirung des Gefühlssinnes sich unver-rkt ändern (wie bei der Umdrehung der Erde), die scheinbare Bewe-ıg der Objekte sich ändern muss, ohne dass wir eine Veränderung der ɜnen Bewegung empfinden (indem ja jetzt alle durch die Verhältnisse ebene Veränderung in Folge der unbewussten Gefühlsäusserung der regung der Aussenwelt zugeschrieben wird).

7. Wirkung ungewöhnlicher Stellungen und Zustände des rpers. Es ist nicht bloss der terrestrische Einfluss, welcher die ndbedingungen für die Orientirung des Gefühls modifizirt, indem ıelbe die Richtung der Vertikallinie oder der Horizontalebene für n Ort der Erdoberfläche und für jeden Zeitpunkt einer Umwälzung ert. Mehr oder weniger stark und mehr oder weniger vermerkt den diese Grundbedingungen auch durch eigenthümliche Lebensver-nisse geändert.

Bei der Stellung auf dem Kopfe oder beim Blicke mit nieder-bugtem Kopfe zwischen den Beinen hindurch behält man vermöge des Muskelgefühls und Blutandranges eine richtige Vorstel- von der Vertikalen, nicht aber von dem Verhältnisse zwischen hts und links. Diese beiden Richtungen werden unwillkürlich wechselt. Ein Gegenstand, der rechts von der Gesichtslinie steht, int uns in jener Stelllung links davon zu stehen. Betrachten wir in er Stellung eine menschliche Figur; so halten wir den linken Arm elben für den rechten und umgekehrt. Blickt man unter dem Arme urch, sodass die Nasenlinie horizontal steht; so nimmt die Unter-idung zwischen dem objektiven Rechts und Links eine Art von icherheit an, welche der ganzen Vorstellung den Charakter der lässigkeit aufdrückt: man ist nicht gut im Stande, sich an einem ren Menschen, welcher auf diese Weise betrachtet wird, das Verhält- von dessen rechter zu dessen linker Seite als ein Verhältniss von ts und links vorzustellen, indem sich hierfür das Verhältniss von ı und unten geltend zu machen sucht.

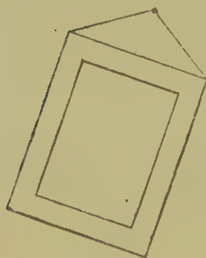
Ebenso führen Krankheitszustände und die verschiedenen Grade Nervenerschlaffung durch den Schlaf in dessen Vorstadien nderungen jener Grundbedingungen und dadurch zu Täuschungen die Bewegungserscheinungen. Da man, während man träumt, nahezu rizontaler Lage wirklich liegt, in den Traumgestalten aber tens in vertikaler Stellung sich befindet; so müssen nothwendig die-en Affektionen der äusseren Sinne, welche häufig auf den Träumenden irken und sich in seinen Traum verflechten, in Beziehung auf Ort Richtung, woher sie wirklich kommen und zu kommen scheinen abgesehen von den Beziehungen ihrer übrigen Eigenschaften), eine leutung erfahren, also Täuschungen in Folge der veränderten Grund-ıgungen der Empfänglichkeit des Nervensystems veranlassen.

Zuweilen jedoch bleibt der Körper auch unter diesen ungewöhnlichen ältnissen einer richtigen Empfängniss äusserer Eindrücke in Beziehung

auf die Grundrichtungen fähig, wozu folgendes Beispiel ein Belag se dürfte.

Mir träumte einst, ich liege mitten auf der Strasse auf dem Rück In dieser Lage betrachtete ich eine Strassenlaterne. Diese Laterne w immer nur momentan sichtbar und verschwand alsdann wieder. Diess fremdete mich, noch mehr aber der Umstand, dass sie nicht verti herab hing, obgleich sie doch in der Spitze an einer Schnur aufgehängt w welche ein Dreieck bildete. Während dieser Eindrücke erwachte ich. war heller Morgen und mein Blick fiel direkt a einen Spiegel, welcher nach Fig. 455 an der geg überliegenden weissen Wand hing und aus der ve kalen Richtung verschoben war. Meine Lage Traume zu der Laterne war mit der wirklichen La zu dem Spiegel ganz übereinstimmend, und die Fo und schräge Richtung der Laterne ganz kongru der des Spiegels. Ich hatte also im Traume rich das Verhältniss der wahren Vertikalen aufgefasst, das Bild des Spiegels in die sich unwillkürlich nenden und schliessenden Augen, deren Beweglich ich im Augenblicke des Erwachens noch deutlich empfinden glaubte, einfiel und sich bei der dem Schlafe angehörigen vollständigen Erkenntniss durch unfreiwillige Anregung des Gehirnes m telst der Affektion der Gesichtsnerven zu einer Traumgestalt umform welche entstand und verschwand, wie die Augenlider die Affektion zul sen und abschnitten.

Fig. 455.



Die Körperhaltung beeinflusst auch vermöge des Zusammenhan aller motorischen Nerven in gewissem Grade die Akkommodation Auges und die Weite der Pupille. So verengt sich beim Blicke die Höhe, d. h. bei der Zurückbiegung des Nackens die Pupille etw die Akkommodationsthätigkeit verstärkt sich, das Objekt ersche etwas näher und kleiner.

Ebenso bringt ungewöhnliche Blutbewegung durch den abnorm Nervenreiz eine Veränderung der Akkommodation, also Täuschung über Grösse und Entfernung hervor.

§. 63.

Dauer des Lichteindruckes. — Beharrungsvermögen.

1. **Nachwirkung einer optischen Erregung.** Der Lichteindru dieser durch die Äthererschwingungen verursachte Vibrationszustand Sehorgane und Sehnerven verschwindet nicht urplötzlich mit der Au bung des äusseren Impulses. Gleich einer tönenden Saite schwingen d Organe nach, und die geistige Vorstellung verschwindet erst, wenn Intensität dieser Schwingungen auf ein gewisses Maass herabgesunken

Man braucht nicht anzunehmen, dass es die von den Ätherschw gungen zunächst betroffenen elementaren Organe der Netzhaut, also Stäbchen seien, welche ihre Vibrationen fortsetzen, wenn der Ät

Impulse mehr ertheilt. Ich glaube nicht, dass der Grund jener Er-
nung in diesen Organen zu suchen sei, und was mich zu dieser An-
e bewegt, ist die Wahrnehmung, dass alle Stoffe der Natur, welche
nechanisch von den Ätherschwingungen affizirt werden, fast ebenso
pt ihre Schwingungen einstellen, wie der Äther selbst. Weder ein
sichtiger, noch ein reflektirender, noch ein zerstreuender Körper
tet mit einer der affizirenden Lichtwirkung einigermaassen entspre-
len Intensität und während eines mit der Dauer des Lichteindruckes
uge vergleichbaren Zeitraumes fort.

Es scheint mir daher viel wahrscheinlicher, dass die Fortdauer der
hen Nervenaffektion nicht in den mechanischen Vorgängen
den räumlichen Bewegungszuständen, sondern in den mit
organischen Thätigkeit verbundenen stofflichen oder chemischen
nderungen ihren Grund habe. Hiermit verträgt sich auch sehr
ie allgemeine Wahrnehmung in der Natur, dass chemische Pro-
e nicht so abrupt beginnen und endigen, wie mechanische, dass sie
hlicher verlaufen, und dass die dauernden Lichtprozesse, z. B.
er Verbrennung, immer auf Chemismus beruhen, welches Alles seinen
l darin hat, dass die tiefer liegenden Massenelemente eines chemisch
ten Körpers erst dann zu ihrer chemischen Geltung kommen können,
die darüber liegenden beseitigt oder gehörig gelockert sind.

Diese chemische Thätigkeit ist bei der Nervenwirkung oder bei der
ng eines Nervenstromes in ähnlicher Weise oszillatorisch, wie die
nische Thätigkeit bei einem räumlichen Vibrationszustande (§. 65).
ortdauer dieser chemischen Thätigkeit ist mit der Fortdauer des gei-
Lichteindruckes gleichbedeutend.

. Dauer des Lichteindruckes. Man giebt die Dauer des Licht-
ckes gewöhnlich auf $^1/_7$ Sekunde an. Ich halte eine solche feste
angabe für ganz trüglich. Jede Individualität bedingt ein anderes
aass bis zu dem Momente, wo die Intensität des Lichteindruckes auf
renze der Sichtbarkeit, welche für jedes Individuum ver-
den ist, herabgesunken ist. Ausserdem hängt für jedes Individuum
Zeitmaass von der Intensität des Lichteindruckes ab:
Lichteindrücke verweilen, bis die Grenze der Sichtbarkeit erreicht
ger als schwache.

Bleiben wir aber für gewöhnliche Augen und gewöhnliche Objekte
m Maasse von $^1/_7$ Sekunde stehen; so ist klar, dass wir jedes Objekt
stens $^1/_7$ Sekunde lang an demselben Orte sehen, gleichviel ob das-
schon früher verschwunden ist oder nicht. Hieraus erklären sich
che bekannte Bewegungserscheinungen.

in fliegender Punkt erscheint als eine Linie von der Länge des
, welchen dieser Punkt in $^1/_7$ Sekunde zurücklegt. Braucht der
weniger Zeit, um von der Wolke zur Erde zu fahren (was in
at der Fall ist); so erscheint er als eine von der Wolke bis zur
eichende zickzackförmige Feuerlinie.

ine rasch durch die Luft bewegte Kohle erscheint wie ein fliegender
aden. Wird dieselbe im Kreise bewegt; so erscheint sie als ein flie-
Kreisstück von der Länge des Weges, welchen sie in $^1/_7$ Sekunde

beschreibt. Wird dieselbe so rasch im Kreise geschwungen, dass si $1/7$ Sekunde mindestens die ganze Kreisbahn durchläuft oder in ei Sekunde mindestens 7 Umdrehungen macht; so erscheint sie als ein hender voller Lichtkreis.

3. Wunderscheiben und Nebelbilder. Tritt an die Stelle verschwundenen Objektes innerhalb des Zeitraumes von $1/7$ Sekunde zweites Objekt; so wird sich das erste in das zweite zu verwandeln s nen. Reihet sich also ein drittes, viertes Objekt an die früheren stellen die einzelnen Objekte die aufeinander folgenden Stadien da welche irgend ein Gegenstand im Verlaufe einer gewissen Thätigkeit Bewegung versetzt wird, z. B. die sukzessiven Stellungen eines Säge nes, eines Räderwerkes u. s. w.; so nimmt die ganze Erscheinung Ansehen einer vor unserem Auge sich vollziehenden stetigen Bewe an. Hierauf beruhen die Stampferschen Wunderscheiben stroboskopischen Scheiben. Besonders vollkommen wird die St keit der Bewegung, wenn die ganze Erscheinung nicht aus einer best ten Zahl isolirter Bilder zusammengesetzt ist, sondern wenn, wie be Nebelbildern, jede Stellung der rotirenden Scheibe dem Auge ein mit allen übrigen im stetigen Zusammenhange stehendes Bild

4. Zeit, welche zur Empfängniss eines Lichteindruckes e derlich ist. Wie die Trägheit der Organe den Lichteindruck noch gewisse Zeit fesselt; so badarf sie auch einer gewissen Zeit, um den I eindruck aufzunehmen. Wird dem Auge diese Zeit nicht gewähr erblickt es den ihm dargebotenen Gegenstand gar nicht. Die Zeit Empfängniss eines Lichteindruckes ist erheblich kürzer, als die D eines solchen Eindruckes und sie ist umso kürzer, je intensive Eindruck ist. Arago ist nicht im Stande gewesen, die Zeit zu m welche der Blitzstrahl zu seinar wirklichen Bewegung vom Himme Erde gebraucht. Diese Zeit ist viel kleiner als $1/7$ Sekunde. G wohl sehen wir den Blitz: die Zeit zur Empfängniss des Lichteindru welche der Blitz verursacht, ist also erheblich kürzer, als die D dieses Eindruckes. Lichtschwache Objekte, z. B. eine Flintenk sehen wir dagegen schon bei viel geringeren Geschwindigkeiten ent den nicht: hier ist also die Zeit der Empfängniss viel länger beim Blitze und unter Umständen vielleicht nicht viel von der D des Lichteindruckes verschieden.

5. Mässige Geschwindigkeit als Bedingung der Sichtbar Um einen Gegenstand deutlich zu sehen, darf sich derselbe nich einer zu grossen Geschwindigkeit bewegen. Übersteigt die Gesch digkeit ein grosses Maass; so erscheint der Körper wie eine zylind Verlängerung seiner Gestalt. Gleichzeitig verliert derselbe mit z mender Geschwindigkeit immer mehr an Lichtstärke: eine glüh Kohle leuchtet bei rascher Bewegung weit weniger, als im ruhender stande. Endlich sinkt bei wachsender Geschwindigkeit die Lichts unter das Maass der individuellen Empfindlichkeit herab: der Körper unsichtbar. In dem letzteren Falle befindet sich ebenso wohl die

gel wie die Hand des geschickten Taschenspielers, deren gungen im wahren Sinne des Wortes vermöge ihrer grossen Geadigkeit unsichtbar sind.

i. **Fernere Bemerkung über den Grund der Dauer des Lichtuckes.** Die Thatsache, dass ein Lichteindruck rascher empfanals verloren wird, unterstützt die obige Annahme über die che- Ursache der Dauer des Eindruckes. Denn dieselbe lehrt, dass der telbare Übergang der Äthervibrationen auf die Netzhaut sehr pt ist, dass also die mechanische Reaktion zwischen dem äussether und den Sehorganen sehr vollkommen ist und sich der Vollkomit der Organisation des reinen Äthers sehr nähert. Hieraus darf man chliessen, dass die mechanische Thätigkeit dieser Organe, betreffe n das Ätherische oder das Ponderabele derselben, auch in Beziehung s Zuruhekommen den vollkommenen Eigenschaften des reinen nahe kommen wird, dass also, wenn sich hierbei eine relativ grosse kommenheit zeigt, dieselbe mehr den anderen mitwirkenden Kräfi. den chemischen, zuzuschreiben ist.

. **Bedingung für die Deutlichkeit und die Sichtbarkeit.** Hinsichtes optischen Effektes der Geschwindigkeit haben wir noch einige kungen zu machen. In Wahrheit verweilt ein bewegter Körper, wie m oder wie rasch er sich auch bewege, nur einen unendlich kleieitraum an demselben Orte. Demgemäss müsste nach Vorstehendem bewegte Körper unsichtbar sein. Der hierin liegende Widerspruch urch folgende nähere Präzision der vorstehenden Sätze beseitigt.

ie Deutlichkeit des Sehens wird erst dann gefährdet, wenn die se des Objektes im Ganzen und in ihren Theilen über gewisse Grenaus unsicher sind, schwanken, sich vervielfältigen u. s. w., d. h. un die Stelle eines Punktes eine Kreisfläche oder eine an-Figur von gewissem Durchmesser tritt. Ebenso bleibt die hkeit so lange völlig ungefährdet, als der Durchmesser der letzteren unterhalb einer gewissen Grenze bleibt. Die letztere Grenze ist ht durch die Dimensionen der Stäbchen bestimmt: denn offenbar den optischen Effekt nur wenig beeinträchtigen, ob die Spitze eines egels den einen oder den anderen Punkt des Querschnittes eines Stäbchens trifft.

Vie also innerhalb der letzteren Grenzen ein Punkt sich zerstreuen hwanken möge, ist für die Deutlichkeit gleichgültig. Innerhalb dieser n kann das ganze Objekt mit der grössten Geschwindigibriren, ohne an Deutlichkeit zu leiden. Ob eine straffe Metalluht oder mit dem ihr zukommenden Grundtone oder mit irgend)ktave desselben tönt, ist für die Deutlichkeit ihres Anblickes ant, obgleich sie sich doch hierbei in enormen Geschwindig- befinden kann, vorausgesetzt nur, dass die Stärke des Tones nicht sse Amplituden erzeugt.

iernach kömmt es bei der Deutlichkeit eines ruhenden oder gten Objektes nicht darauf an, wie lange dasselbe an demselben natischen Orte, sondern wie lange es innerhalb der zuletzt er-

wähnten Deutlichkeitsgrenzen verharre, gleichviel, in wel Weise es sich in diesem Spielraume verhalte. Demgemäss ist für früheren Sätze nicht die absolute Geschwindigkeit eines solchen Kör sondern diejenige Geschwindigkeit entscheidend, welche seiner steti Fortschrittsbewegung entspricht. Diese letztere Geschwindig geht nicht hervor aus der Betrachtung der Zeit, welche zu unendl kleinen Ortsveränderungen erforderlich ist, sondern welche zu Orts änderungen erforderlich ist, die über die Deutlichkeitsgren hinausgreifen und zwischen zwei homologen Schwingungszustän liegen.

8. **Hinundhergehende Bewegung.** Die Wirkung der Gesch digkeit auf die Sichtbarkeit eines Gegenstandes lässt sich besonders der hinundhergehenden Bewegung beobachten. Bewegt man ein Ob z. B. einen Bleistift, vor dem Auge rasch hinundher; so erscheint zwis den Grenzlagen nur der durchsichtige Schein schwach gefärbter Fläc Auf den Grenzen, wo das Objekt momentan zur Ruhe kömmt, ist dass jedoch ziemlich deutlich sichtbar.

Je heller das Objekt im Vergleich zu seinem Hintergrunde desto weniger wird die Helligkeit durch dieselbe Geschwindigkeit schwächt. Eine rasch bewegte glühende Kohle bildet daher eine kräfti zusammenhängende Lichtfigur, als ein dunkler Körper: gleichwohl man auch bei einer rasch hinundher bewegten Kohle wahrnehmen, die beiden Grenzlagen viel stärker leuchten, als die Verbindungsf

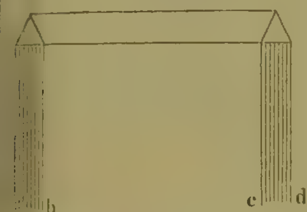
Durch gesteigerte Geschwindigkeit bei der hinundhergehen Bewegung kann also die Verbindungsfigur endlich ganz aus löscht werden: nicht aber die Erscheinung der beiden Grenzlag weil hier immer bei dem Wechsel der Bewegung ein genügender Ru punkt eintritt.

9. **Unterschied der Erscheinung bei rascher Bewegung he und dunkler Objekte.** Die Erscheinung, welche entsteht, wenn ein per mit einer Geschwindigkeit bewegt wird, welche zu den gewöhn vorkommenden raschen Bewegungen gehört, also zu Bewegungen, w nicht übermässig rasch sind, wird nach Vorstehendem eine wesen andere sein, jenachdem der Körper im Vergleich zu seinem Hintergr hell oder dunkel ist. Der helle wird eine stetig zusamm hängende helle Figur bilden; der dunkle dagegen w verschwinden. (Bei langsamer Bewegung bildet auch der dun eine zusammenhängende Figur von gewisser Länge, und bei gestei ter Geschwindigkeit verschwindet endlich auch der helle Körper.)

Bei hinundhergehender Bewegung werden sich bei dem he Körper die Grenzlagen nur wenig markiren. Bei dem dunklen per, dessen mittlere Verbindungsfigur ganz verschwindet, treten Grenzlagen umso kräftiger (dunkler) hervor. Diese relative dunklung und Hervortretung der Grenzlagen des dunklen Körpers be nehmender Geschwindigkeit erklärt sich leicht. Je heller nämlich rascherer Bewegung des dunklen Körpers ab (Fig. 456) der Zwisc raum bc in Folge des Verschwindens der Verbindungsfigur wird, d

·ker wird der Kontrast zwischen der Figur *ab* und dem helleren Hin-grunde rechts und links. Eine Bewegung des Körpers *ab* von *ab* bis *cd*, oder der dunklen Linie *a* von *a* bis *c* und der dunklen Linie *b* von *b* bis *d* ist auch gleichzeitig eine relative Bewegung der links neben *a* liegenden hellen Linie des Hintergrundes von *a* bis *c* und der rechts neben *b* liegenden hellen Linie des Hintergrundes von *b* bis *d*. Zwischen *a* und *c* oszillirt also in derselben Periode eine helle Linie, während gleichzeitig auch eine solche Linie zwischen *b* und *d* oszillirt. Der Zwischen-m *bc* auf der Netzhaut wird also in derselben Zeit von zwei Lichtlinien rrichen, die Grenzlagen *ab* und *cd* jedoch nur von einer. Während ·er bei zunehmender Bewegung der Zwischenraum heller wird das Objekt daselbst verschwindet, werden die Grenzlagen dunkler markiren das Objekt umso bestimmter.

Fig. 456.



10. Scheinbarer Stillstand eines Körpers. Wie die Über-rreitung einer gewissen Maximalgeschwindigkeit die Sicht-lkeit des Objektes aufhebt, ebenso vernichtet das Herabsinken ·r eine gewisse Minimalgeschwindigkeit die Merkmale der ·vegung. Ein so langsam sich bewegender Körper scheint still zu ·hen. An dem kleinen Zeiger, dem Stundenzeiger einer gewöhnlichen ·henuhr vermögen wir die Bewegung durchaus nicht wahrzu-·men, dieselbe ist für unser Auge völlig unsichtbar.

11. Maximalgeschwindigkeit für die Sichtbarkeit und Mini-·geschwindigkeit für den Stillstand. Die Maximalgeschwindigkeit, ·welcher ein Körper verschwindet, und die Minimalgeschwindigkeit, ·welcher er still zu stehen scheint, sind, wie schon erwähnt. keine ·r allen Umständen sich gleich bleibenden Grössen. Je heller das ·kt, je grösser dasselbe ist, je mehr dasselbe durch Farbe und Hel-·it gegen den Hintergrund kontrastirt und je mehr und zur Erkennt-·einer Ortsveränderung durch ihre Form geeignete Gegenstände in der nächsten Umgebung des Objektes befinden, desto höher ·t die Maximalgeschwindigkeit, wobei das Objekt unsichtbar ·, und desto tiefer sinkt die Minimalgeschwindigkeit, wobei das-· still zu stehen scheint.

Für gewöhnliche Verhältnisse mögen die Variationen der beiden ·hwindigkeiten unter den eben genannten variabelen Umständen nicht bedeutend sein. Von viel grösserem Einflusse auf den Werth jener ·zgeschwindigkeiten ist die Entfernung des Objektes vom Auge oder ·Sehweite. Wir haben dieselbe bis jetzt als konstant und der mitt-· Sehweite gleich vorausgesetzt. In der Wirklichkeit herrscht in die-·Beziehung die grösste Verschiedenheit und bedingt erhebliche Unter-·de.

Offenbar kömmt es bei sonst gleichen Umständen eigentlich gar nicht ·die absolute Geschwindigkeit des Objektes, sondern auf die

Geschwindigkeit an, mit welcher sein Lichtbild sich auf der Net haut bewegt, also auf die Winkelgeschwindigkeit des Objekt in Beziehung zu unserem Auge. Ist das Objekt nocheinmal so wei so muss es die doppelte obere Grenzgeschwindigkeit annehmen, e es verschwindet, und es kann die untere Grenzgeschwindigk ebenfalls verdoppeln, um noch als stillstehend zu erscheinen: de die Geschwindigkeit seines Netzhautbildes oder seine Winkelg schwindigkeit gegen das Auge bleiben sich bei der Verdopplu seiner absoluten Geschwindigkeit gleich.

Unter der Winkelgeschwindigkeit verstehen wir die Boge länge $a'b'$ (Fig. 457) eines mit der Längeneinh ca' beschriebenen Kreises, welche der nach dem be weglichen Körper a gezogene Radius ca in der Ze einheit beschreibt, oder auch die nach Graden g messene Grösse des in der Zeiteinheit beschrieben Winkels $a'cb'$.

Fig. 457.



Ist v die absolute Geschwindigkeit eines norm zur Sehlinie sich bewegenden Körpers, α die Wink geschwindigkeit, ausgedrückt nach Winkelmaass Graden, und r der Abstand des Objektes vom Au so besteht zwischen den beiden Grössen v und α Beziehung

$$\alpha = \frac{180\, v}{\pi\, r} = 57{,}3\, \frac{v}{r}$$

oder

$$v = \frac{\pi\, r\, \alpha}{180} = \frac{r\, \alpha}{57{,}3}$$

Wenn $R =$ nahezu 15 Millimeter den Abstand des Kreuzungspu tes von der Netzhaut und u die Geschwindigkeit des Lichtsbildes auf d Netzhaut in Millimetern pro Sekunde bezeichnet; so hat man auch in M limetern

$$u = R\,\frac{v}{r} = 15\,\frac{v}{r}\,,$$

oder

$$u = \frac{R}{57{,}3}\,\alpha = 0{,}262\,\alpha$$

Die Zeit t in Sekunden, welche das Lichtbild gebraucht, um d Bezirk des deutlichen Sehens von 1 Millimeter Durchmesser durchlaufen, ist

$$t = \frac{1}{u} = \frac{r}{15\, v} = \frac{3{,}8}{\alpha}$$

Die Winkelgeschwindigkeit α hat nun für die obigen beiden Grenz zwei bestimmte Werthe, insofern alle übrigen Umstände ungeändert bl ben. Zu diesen übrigen Umständen gehören aber nicht bloss die früh genannten, auf die Beschaffenheit des Objektes und Hintergrundes b züglichen, sondern auch noch ein anderer, die Art der Bewegu

·effender. Diess ist die Richtung der Bewegung, in Folge deren sich ıählich die Entfernung oder die Sehweite ändert. Bewegt sich ılich der Körper *a* nicht in einem um das Auge *c* beschriebenen ɜise; so kömmt nicht bloss die Ortsveränderung des Bildes auf der ːzhaut oder die damit verbundene Drehung des Auges, sondern ı die durch die Veränderung der Entfernung des Objektes in Anspruch ommene Akkommodationsthätigkeit des Auges in Betracht.

Wennauch für das Objekt *a* in Fig. 457 und in Fig. 458 die Winkelgeschwindigkeit *acb* ganz gleich ist; so wird dasselbe doch bei der nach Fig 458 weit schräger gegen die Augenaxe gerichteten (auch absolut rascheren) Bewegung eher verschwinden, als bei der Bewegung nach Fig. 457, weil dem Auge ein rascherer Wechsel der Akkommodation auf die Sehweite zugemuthet wird. Demgemäss giebt es sogar für einen in der Richtung der Sehlinie *ca* nach Fig. 459 sich bewegenden Körper, obgleich dessen Bild fortwährend auf dieselbe Stelle der Netzhaut fällt, also ruht, eine Grenzgeschwindigkeit, bei welcher derselbe unsichtbar oder doch undeutlich wird.

Fig. 458.

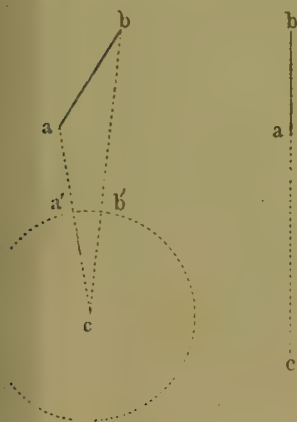


Fig. 459.



Ausserdem spielt bei jenen Grenzwerthen die Grösse der Entfernung, in welcher sich Objekt eben befindet, oder der augenblickliche Akkommodations-tand des Auges eine gewisse Rolle in der Weise, dass solange sich Objekt noch innerhalb derjenigen mässigen Entfernungen befindet, wo der Veränderung des Abstandes noch eine lebhafte Veränderung der ːommodation des Auges verbunden ist, die obere Grenze der Winkel-hwindigkeit, bei welcher das Objekt verschwindet, sich mit zunehnder Entfernung vermindert, dergestalt, dass innerhalb dieses ırkes mehr die absolute Geschwindigkeit zur Geltung kömmt. e Erscheinung steht mit der schon in §. 24 erläuterten Thatsache im sten Zusammenhange, wonach sich innerhalb gewisser Grenzen der Entung die scheinbare Grösse eines Objektes fast gar nicht, jenseit er Grenzen aber nur wenig und erst bei sehr grossen oder sehr klei-Entfernungen nahezu im Verhältniss der Entfernung sich ändert.

Man kann also sagen, dass unter sonst gleichen Umständen und bei pern, welche sich normal zur Sehlinie bewegen, die obere Geschwineitsgrenze für das Verschwinden und die untere Geschwindigsgrenze für den scheinbaren Stillstand nahezu nur von der absoɜn Geschwindigkeit abhängt, solange sich der Körper im Bezirke des tlichen Sehens befindet, dagegen nahezu von der Winkelgeschwinkeit, wenn der Körper diesen Bezirk bedeutend überschreitet, wähl in den Zwischenstadien ein gewisses Verhältniss stattfindet.

In dem ersteren Falle befinden sich z. B. die Zeiger einer Uhr. Die ze des grossen oder Minutenzeigers auf einer Uhr von 42 Millimeter chmesser sehe ich noch in Bewegung. Derselbe bewegt sich mit einer

absoluten Geschwindigkeit von 132 Millimeter pro Stunde und we man sie aus einer Entfernung von 250 Millimeter betrachtet, mit ei Winkelgeschwindigkeit von 30 Grad pro Stunde.

Mir däucht, dass auf eine Entfernung von $^3/_4$ dieser Zeigerlänge d andere Grenze der absoluten Geschwindigkeit liege, dass also Stil stand einzutreten scheint, wenn ein naher Gegenstand sich langsam als mit 100 Millimeter pro Stunde bewegt (was aus der Entfernung v 250 Millimeter einer Winkelgeschwindigkeit von 22 Grad entsprech würde).

Von der Winkelgeschwindigkeit scheint in denjenigen Entf nungen, aus welchen man eine Uhr zu betrachten pflegt, jene Gren ganz unabhängig zu sein. Denn indem man die Uhr in derselben St lung hält, bewegt sich jeder Punkt des Zeigers mit derselben Winkelg schwindigkeit und dessenungeachtet scheint nur die Spitze sich zu bew gen, der noch am Drehungspunkte belegene Theil dagegen still z stehen. Ebenso erkennt man die Bewegung der Spitze noch, gleichw ob man die Uhr aus einer Entfernung von 250 oder aus einer Entfernu von 500 Millimeter (10 oder 20 Zoll) betrachtet, obgleich doch im let teren Falle, nämlich bei der Entfernung von 500 Mm., die Winkelgeschwi digkeit in Beziehung zum Auge etwa nur halb so gross als im erst ren, nämlich nur 11 Grad pro Stunde ist. Bei dieser Entfernung (v 500 Mm.) scheint jedoch die Sichtbarkeit der Bewegung ganz aufz hören; gleichzeitig verliert sich bei dieser Entfernung und der gewöh lichen Beleuchtung die Deutlichkeit eines Objektes von der Beschaffe heit einer Zeigerspitze.

Die Spitze des kürzeren Stundenzeigers, welche sich nur mit de zwölften Theile der Geschwindigkeit bewegt, mit welcher sich der auf ³ der Zeigerlänge liegende Punkt des Minutenzeigers bewegt, scheint selbs verständlich ganz still zu stehen. Bei zwölfmaliger Vergrösseru erreicht aber diese Geschwindigkeit die erwähnte untere Grenze von 10 Millimeter pro Stunde und wird demzufolge sichtbar.

Die Gestirne befinden sich in dem zweiten vorhin bezeichnete Falle. Wegen ihrer grossen Entfernung ist für die fraglichen Grenzen nu die Winkelgeschwindigkeit maassgebend. Die tägliche Bewegun dieser ist noch sichtbar, was man beim Auf- und Untergange der Sonn wo ein hinreichend grosses, gleichwohl nicht zu stark blendendes Obje vorliegt, besonders dann gut beobachten kann, wenn sich schmale Wolke am Horizonte befinden. Diese Winkelbewegung beträgt 15 Grad pr Stunde und sie scheint mir der unteren Grenze nahe zu liegen, w der scheinbare Stillstand eintritt. Wäre etwa 10 Grad pr Stunde diese Grenze; so erkennt man, dass diese untere Grenze der Win kelgeschwindigkeit für die Sonne in der That kleiner ist, als für de Zeiger auf der Uhr, dass jedoch jene Winkelgeschwindigkeit für di Sonne der äussersten Grenzgeschwindigkeit für den Uhrzeiger bei möglichs grosser Entfernung der Uhr vom Auge nahezu gleich kömmt.

Wenngleich die Grenze der Winkelgeschwindigkeit mit der Ent fernung variirt; so ist diese Variation, von welcher wir soeben durch Ver gleichung der Uhr mit der Sonne ein Beispiel gegeben haben, doch be weitem nicht so gross, als die Variation, welche die Grenze der absolu

n Geschwindigkeit hierbei erleidet. Man vergegenwärtige sich das Verltniss der absoluten Geschwindigkeit der Spitze des Minutenzeigers und r absoluten Geschwindigkeit eines Punktes, welcher scheinbar oder rklich in 24 Stunden einen Kreis von 40 Millionen Meilen Durchmesser rchläuft! Beide befinden sich nahe auf der unteren Grenze des scheinren Stillstandes.

Die eben besprochene untere Geschwindigkeitsgrenze für den heinbaren Stillstand des Objektes ist von der Helligkeit des tzteren ziemlich unabhängig, indem dieser Bewegungszustand nahezu m Zustande der Ruhe entspricht und vorausgesetzt wird, dass man nur lche Objekte betrachtet, welche im Zustande der Ruhe hinreichend utlich gesehen werden können, welche also mindestens das zur Deuthkeit erforderliche Licht besitzen. Ein Überfluss an Helligkeit kann her nur einen unwesentlichen Einfluss haben.

In weit höherem Grade, ja in einem sehr erheblichen Grade ist dagen die obere Geschwindigkeitsgrenze für das Verschwinden s Objektes von der Helligkeit abhängig. Während eine gewöhnliche nonenkugel in ihrem Fluge unsichtbar ist, ist eine glühende sehr hl sichtbar. Wenn man also die Geschwindigkeit des Verschwindens r verschiedene Entfernungen untersuchen will, muss gleiche Beuchtung als eine sehr wesentliche Vorbedingung gestellt werden.

Gewöhnliche Objekte von schwacher Beleuchtung verschwinden vollndig bei einer Geschwindigkeit von $v = 40$ Meter in einer Entfernung n $r = 3$ Meter, also bei einer Winkelgeschwindigkeit von 764 Grad er bei einer Lichtbildgeschwindigkeit von $u = 200$ Millimeter, sodass r Bezirk des deutlichen Sehens in $\frac{1}{200}$ Sekunde durchstrichen wird.

Unkenntlich und äusserst lichtschwach, also zu einem flüchgen Schatten wird ein solches Objekt aber schon bei viel kleinerer eschwindigkeit. Die Hand des Taschenspielers und die von ihm worfenen Gegenstände werden schon bei Geschwindigkeiten nicht kennbar, welche in mässigen Entfernungen den Betrag von $v = 6$ Meter der Sekunde nicht überschreiten mögen.

Ich muss bei dieser Gelegenheit hervorheben, dass die Täuschung, lche der Taschenspieler durch rasche Bewegungen hervorbringt, durchaus cht, wie Manche glauben, durch eine Überrumplung des Zuschauers wonnen wird. Diese Täuschung ist eine ganz vollkommene, auf der nfähigkeit des Auges des Zuschauers zur Erkenntniss so rasch wegter Objekte beruhende: für den Zuschauer ist die rasch bewegte nd des Taschenspielers in der That unsichtbar und die gespannteste fmerksamkeit und Kenntniss der Bewegung würde sie nicht sichtbar chen, wenn sie mit der gehörigen Schnelligkeit bei mässiger Beleuchng ausgeführt wird.

Um übrigens die obere Geschwindigkeitsgrenze für das Verschwinden r gegebene Beleuchtungsgrade zu ermitteln, darf man nicht mit rotinden Körpern experimentiren, weil ein solcher Körper nach Vollendung nes Umlaufes immer wieder in denselben Ort tritt, also bei fort-

gesetzter Beschleunigung der Rotationsgeschwindigkeit nicht verschwindet, sondern nach No. 2 als eine zusammenhängende Kreislinie erscheint.

12. **Einfluss der Entfernung des bewegten Objektes auf die Deutlichkeit.** Der Einfluss der Entfernung anf die Sichtbarkeit bewegter Gegenstände hat die eigenthümliche Thatsache zur Folge, dass rasch bewegte Gegenstände aus der Ferne deutlicher gesehen werden, als aus der Nähe. Die Entfernung ermässigt die scheinbare Geschwindigkeit des Objektes, indem sie die Geschwindigkeit des Netzhautbildes verkleinert. Überwiegt nun diese Verminderung der Geschwindigkeit den Effekt der mit der Entfernung gleichzeitig verbundenen Verminderung der Deutlichkeit, wie es bei gewissen Helligkeitsgraden und innerhalb gewisser Grenzen der Entfernung der Fall ist; so ist das Resultat ein Gewinn an Deutlichkeit.

Ein mit der Hand geworfener Stein, welcher, wenn er nahe vor unserem Auge vorbeifliegt, unsichtbar ist, wird aus einiger Entfernung in seiner ganzen Bahn sichtbar.

Wenn man dicht am Gleise steht, während ein Eisenbahnzug vorüberfährt, kann man an diesem Zuge Nichts deutlich erkennen; wohl aber aus grösserer Entfernung.

Der Taschenspieler hat einen günstigeren Stand in mässiger Nähe des Zuschauers, als in zu grosser Entfernung.

Man würde den elektrischen Funken des Blitzes, wenn er mit der Geschwindigkeit von mehr als 10000 Meilen pro Sekunde (wahrscheinlich aber auch mit keiner viel grösseren, da die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes in den gut leitenden Metalldräthen auch keine erheblich grössere ergeben hat) ganz nahe, etwa 1 Fuss weit an unserem Auge vorüberflöge, als Objekt sicherlich nicht sehen. (Der allgemeine Lichteindruck, welchen das während des Herabfahrens des Blitzes von der Wolke zur Erde von allen Punkten der Atmosphäre und der Erde reflektirte Licht, welches dauernd jeden Punkt der Netzhaut trifft, hervorbringt, muss hier von dem Sehen des Funkens unterschieden werden.) Aus der Entfernung von einer halben Meile, welche 10000-mal so gross ist, als die frühere, erscheint jene Geschwindigkeit ungleich schwächer, und wenn auch nicht gerade wie der 10000-ste Theil der früheren, oder wie eine Geschwindigkeit von einer Meile pro Sekunde aus der Entfernung des deutlichen Sehens, so doch wie eine Geschwindigkeit, welche von der vieler irdischen Körper nicht sehr verschieden ist. Demgemäss wird der Blitz sichtbar und zwar als Linie, welche in dieser Entfernung eine erhebliche Länge hat, da der Weg, welchen der Funken in der Zeit von $^1/_7$ Sekunde durchläuft, nahezu 1400 Meilen, selbst aus der Entfernung von $^1/_2$ Meile gesehen, noch eine namhafte scheinbare Ausdehnung hat. Betrachteten wir diesen Blitz aus der Entfernung der Erde von der Sonne, also aus der Entfernung von 20 000 000 Meilen; so nähme der Weg von 1400 Meilen, welchen er in einer Sekunde beschriebe, nur den Gesichtswinkel von 15 Sekunden ein, reduzirte sich also auf einen leuchtenden Punkt, welcher gleich den Gestirnen sogar still zu stehen scheinen würde.

13. Einfluss der Bewegung des Objektes auf die Akkommo-tion. Die Bewegung des fixirten Objektes hat einigen Einfluss auf die kommodation des Auges: es sind dabei aber zwei Fälle zu unterschei-: der Fall der langsamen und der der raschen Bewegung.

Wenn ein Objekt ruht; so ermüdet bei lange fortgesetzter Fixirung selben das Auge endlich in Folge des Umstandes, dass stets diesel-n Nervenfasern mit Anstrengung gebraucht werden. Die Folge rvon ist, dass das Objekt allmählich an Deutlichkeit verliert, auch dass Akkommodationsanstrengung etwas erschlafft, sodass das Objekt etwas fernter und grösser erscheint. Wenn also das Objekt dauernd fixirt rden soll, ist eine gewisse langsame Bewegung des Objektes für die arfe Erkenntniss desselben günstiger, als absolute Ruhe, weil hierdurch, bst wenn das Auge der Bewegung des Objektes folgt, doch immer eine ränderung in dem Zustande jeder einzelnen Nervenfaser, also eine Un-brechung des durch seine Dauer lästig werdenden Lichtangriffes auf selbe vor sich geht. Wir erkennen daher auf die Dauer die klein-n Theile eines Objektes schärfer, wenn sich dasselbe ein wenig be-gt und bei der scharfen Fixirung eines ruhenden Objektes fühlen wir Zeit zu Zeit einen unwiderstehlichen Drang, das Auge zu bewe-n, und wenn wir Diess nicht thun, entschwindet das Objekt mo-ntan dem Gesichte, d. h. die angegriffenen Nerven entziehen sich, in-m das Auge übergeht, unwillkürlich dem unangenehm werdenden griffe.

Wenn dagegen die Geschwindigkeit des bewegten Objektes gross d, also ein rascher Wechsel der in Anspruch genommenen Nerven tritt und dem Auge nicht die zur vollständigen Aufnahme eines schar-Lichteindruckes nach No. 4 erforderliche Zeit gelassen wird; so ist Bewegung für eine deutliche Erkenntniss offenbar ungünstig. Die lge hiervon wird sein, dass sich das Auge auf das Objekt nicht stark ug, also zu weit akkommodirt. Demzufolge wird ein rasch beweg-Objekt immer etwas zu entfernt und zu gross und daneben un-tlich erscheinen.

14. Beharrlichkeit der Akkommodationsthätigkeit. In ähn-er Weise wie der Lichtprozess sich eine Zeit lang in der davon er-ffenen Nervenfaser erhält, ebenso setzen auch die motorischen Nerven Akkommodation ihre Thätigkeit mit abnehmender Kraft noch über Moment der Erlöschung des äusseren Reizes fort.

Aus diesem Grunde ist das Auge, welches lange und angestrengt auf ze Sehweiten gebraucht ist, schwer auf entfernte Objekte zu akkom-diren. Wenn wir lange Zeit studirt haben, sind wir beim Eintritte in freie Natur kurzsichtig: wir sehen die entfernten Gegenstände undeut-. Noch stärker tritt diese Veränderung des Auges nach angestreng-Sehen durch das Fernrohr oder Mikroskop hervor, wobei stets ein d in der mittleren Sehweite von 9 bis 10 Zoll fixirt wird und die irung mit grösster Anstrengung vor sich geht, da ja Beobachtung einzige Zweck dieser Thätigkeit ist.

15. Beharrlichkeit aller übrigen Thätigkeiten des Sehorgans. vorstehenden Betrachtungen über die Beharrlichkeit eines einge-

leiteten Nervenprozesses finden auf sämmtliche Thätigkeiten Anwendung, welche im Sehorgane vorkommen. Die Täuschung, welche nach dem angestrengten Gebrauche des Auges auftritt, ist daher das Resultat mehrerer zusammenwirkenden Beharrungszustände. Wir haben bis jetzt die Nachwirkung des Prozesses in dem von dem Objekte affizirten Netzhautbilde und in dem Akkommodationsapparate betrachtet. Zu diesen beiden gesellt sich als dritte Hauptwirkung die Beharrung der rings um das Lichtbild jenes Objektes liegenden ganzen Netzhautfläche in dem darin erregten Zustande.

Der letztere Zustand der ganzen Netzhaut hängt fast allein von der Gesammterleuchtung des Auges oder von der Helligkeit des Gesichtsraumes ab. Meistens ändert sich der gesammte Gesichtsraum bei dem wechselnden Gebrauche des Auges nicht; aber doch in manchen Fällen, z. B. wenn wir aus dem Zimmer ins Freie, aus dem Dunkeln ins Helle oder aus dem Hellen ins Dunkle treten. In allen diesen Fällen, wo die Gesammtdisposition des Auges eine rasche Änderung erleiden soll, zeigen sich in Folge des Beharrungsvermögens Schwierigkeiten, welche Undeutlichkeit und unangenehme Empfindungen mit sich führen.

Beim Übergange aus dem Dunkeln ins Helle wird das Auge geblendet; der Gesichtsraum erscheint dunkler als er ist und wir vermögen uns nicht so gut auf nahe und auf helle Objekte zu akkommodiren. Beim Übergange aus dem Hellen ins Dunkle bleibt ein Lichtschimmer vor unseren Augen und wir vermögen uns nicht so gut auf entfernte und auf dunkle Objekte zu akkommodiren.

Wenn der Gesichtsraum, in welchen wir das Auge plötzlich versetzen, von andersfarbigem Lichte erleuchtet ist, als der frühere, wenn wir z. B. aus einem von Kerzen oder Ölflammen erleuchteten Raume in das Tageslicht hinaustreten, entstehen durch die Beharrung des Farbenprozesses in dem ganzen Auge auch Farbenerscheinungen, welche sich jedoch erst durch die Untersuchungen in §. 68 näher feststellen lassen.

§. 64.

Entoptische Gesichtserscheinungen.

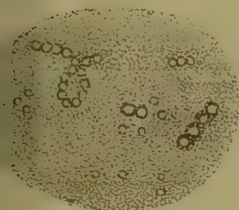
1. Fliegende Mücken. Von den entoptischen, d. h. von denjenigen Gesichtserscheinungen, welche ihre Entstehung solchen Körperchen oder Partien im Auge verdanken, welche den normalen Durchgang oder die normale Wirkung der Lichtstrahlen hindern oder verändern, spielen vornehmlich die fliegenden Mücken (*mouches volantes*) eine Hauptrolle.

Wenn man mit freiem Auge gegen eine helle Fläche von genügender, jedoch nicht allzu grosser Intensität, namentlich gegen den hellen, von der Sonne nicht zu direkt beleuchteten Himmel blickt (die Helligkeit des Gesichtsfeldes, welche bei Abend eine Lampenkuppel aus gewöhnlicher Entfernung verbreitet, genügt hierzu nicht); so bewegen sich vor dem Auge zahllose dunkle oder vielmehr schattige Figuren. Alle diese Figuren bestehen aus runden Elementen. Die meisten sind isolirt und bestehen aus

n dunklen Ringe mit hellem Mittelfelde, welches Letztere hel- st, als das umgebende Gesichtsfeld. Bei scharfer Beobachtung erkennt dass jede Figur ein helles Mittelfeld hat, um welches sich der immer ich erkennbare schwarze Ring legt: auf diesen Schattenring folgt wieder ein feinerer Lichtring, darauf ein matterer Schattenring und rt abwechselnd mit immer mehr sich verlierender Intensität Licht- Schattenringe.

Zuweilen erscheinen Fäden oder Linien, bald gerade, bald gebo- , auch wohl schlingenförmig. Auf den ersten Blick glaubt man in etzteren Gebilden zwei dunkle Saumlinien mit hellem Zwischenfelde zu sehen: bei genauerer Betrachtung erscheinen dieselben sämmtlich als Zusammenreihungen der soeben beschriebenen Kügelchen oder Perlen, wie Fig. 460 darstellt.

Fig. 460.



Besonders deutlich erscheinen diese Figuren, wenn man durch ein feines Loch in einem Kartenblatte blickt. In diesem Falle genügt auch die Helligkeit einer Lampenkuppel als Projektionsfläche.

uch in den in §. 58 No. 24 beschriebenen Büschelstrahlen einer n Flamme sind die fliegenden Mücken deutlich sichtbar.

Jeder hell erleuchtete Glanzpunkt, z. B. der Reflexpunkt eines von onne beschienenen Nadelknopfes oder ein feiner reflektirender Riss nem Glase, welches von der Sonne beschienen wird, zeigt die Mücken, d man das Auge diesem Punkte so nahe bringt, dass derselbe als er (nach §. 31 No. 15 der Pupille entsprechender) Kreis erscheint.

2. **Die scheinbare Bewegung der fliegenden Mücken.** Die nbare Bewegung der fliegenden Mücken charakterisirt sich folgen- aassen. Beim Aufschlagen der Augenlider springen dieselben von eren Seiten, vornehmlich aber von unten ins Gesichtsfeld und be- n sofort nach unten herabzusinken. Wenn man das Auge ruhig sind fast alle Figuren, namentlich die grösseren, in der Zeit von n Sekunden durch das ganze Gesichtsfeld herabgesunken und er- nen ohne Weiteres nicht wieder. Um dieselben wiederum zum Er- nen zu bringen, braucht man nur die Augen zu schliessen und wieder fnen.

Das Herabsinken findet übrigens nur statt, wenn man den Kopf in hnlicher Stellung aufrecht hält. Biegt man denselben so weit nach n über, dass die Augenaxe vertikal steht; so hört das Herabsinken die fliegenden Mücken schweben alsdann lange im Gesichtsfelde und gen sich nach allen Richtungen. Namentlich kann man diese Er- nung gut beim Schwimmen auf dem Rücken mit dem Blicke den hellen Himmel beobachten.

Am ruhigsten stehen diese Figuren, wenn die Augenaxe vertikal ler Blick nach unten gerichtet ist. Namentlich lässt sich Diess gut Blicke durch das Mikroskop in den erleuchteten Spiegel beobachten.

Lässt man aber den Kopf nach unten hängen, indem man in kter Stellung zwischen den Beinen hindurchsieht oder indem man

sich am Turnreck an den Kniekehlen aufhängt; so bewegen sich die fliegenden Mücken wiederum vertikal abwärts, also gegen die Stirn, folglich in Beziehung zum Körper in einer der früheren direkt entgegengesetzten Richtung.

3. Sitz der fliegenden Mücken. Was den Sitz der fliegenden Mücken betrifft; so kann derselbe nicht in der Feuchtigkeit gesucht werden, welche die Aussenseite der Hornhaut überzieht: denn es ist unmöglich, dass sich ein Körperchen in dieser dünnen adhärirenden Feuchtigkeitsschicht so rasch fliessend bewegen könnte, dass es in wenigen Sekunden den Durchmesser der Pupille beschriebe. In dieser Feuchtigkeit findet wegen ihrer Klebrigkeit überhaupt keine bemerkenswerthe Bewegung bei ruhigem Auge statt.

Noch nicht einmal die an den Rändern der Augenlider angehäufte Thränenfeuchtigkeit vermag sich, weil sie durch Adhäsion an die Unterlage gefesselt ist, zu bewegen. Auch wenn bei nassem Nebel oder feinem Regen ein Wassertropfen auf die Hornhaut fällt; so erkennt man an der Stabilität der sich bildenden Ringfiguren, dass ein solcher Tropfen an der Stelle, wo er aufgefallen ist, haftet, bis er verdunstet.

Ebenso wenig ist es möglich, dass die fraglichen Körperchen in der Substanz der Hornhaut oder in der Linse oder im Glaskörper oder in der Netzhaut ihren Sitz hätten: denn alle diese Organe sind aus kompakten Substanzen gebildet, welche keinem Körper eine sie durchdringende Bewegung, am wenigsten eine so rasche gestatten.

Aber auch die in diesen Organen liegenden Adern können jene Körper nicht enthalten. Einmal wäre mit der Blutbewegung in den nach allen Richtungen sich verästelnden Adern eine so regelmässig nach einer und derselben Richtung erfolgende Bewegung der fliegenden Mücken nicht denkbar. Noch weniger verständlich wäre der Einfluss der Haltung des Kopfes auf die Richtung der Bewegung der fliegenden Mücken, da diese Haltung doch die Richtung der Blutbewegung in den gegebenen Kanälen nicht in eine beliebige abändern kann. Endlich aber kann überhaupt kein Körper in diesen Adern bei normalem Zustande des Auges einen bemerkenswerthen Gesichtseindruck erzeugen, selbst wenn er ganz undurchsichtig wäre. Denn diese Adern, welche sämmtlich in der vordersten Schicht der Netzhaut (nicht in der Zellen- und Stäbchenschicht) liegen, sind von so feinem Kaliber, dass sie von einem Strahlenkegel, dessen Spitze auf der Aderhaut liegt und dessen Basis die Pupille ist, nur wenig versperren. Wäre es anders; so müssten alle diese Adern fortwährend als dunkle, und weil sie durchscheinend sind, als dunkle rothe Linien in unserem Gesichtsfelde erscheinen, was nicht der Fall ist. Hierzu kömmt aber schliesslich noch, dass der Bezirk des deutlichen Sehens von Blutgefässen ganz frei ist, dass aber die fliegenden Mücken diesen Bezirk so gut wie das übrige Gecichtsfeld bestreichen. Dass schliesslich die Adern der Aderhaut, welche sämmtlich hinter der Pigmentschicht liegen, hierbei keine Rolle spielen können, versteht sich von selbst.

Hiernach bleibt nur das Augenwasser zwischen der Hornhaut und der Linse als der einzig mögliche Ort für die fliegenden Mücken übrig.

4. Körper, welche die fliegenden Mücken erzeugen. Jedes in r Flüssigkeit enthaltene Körperchen, welches spezifisch schwerer ist, herabsinken, wenn es durch irgend eine Veranlassung in diese igkeit getrieben ist; jedes Körperchen dagegen, welches spezifisch ter ist, wird aufsteigen. Sowohl das Herabsinken, wie das Aufn durch den kleinen Raum der Pupille wird in verhältnissmässig r Zeit erfolgen. Nachdem sich alle diese Körperchen auf der Regenhaut oder zwischen dieser Haut und der Linse abgelagert haben, das Gesichtsfeld rein geworden sein.

Sowie man die Augenlider schliesst, entsteht eine Pressung gegen die naut: es gesellt sich hierzu die mit der Verdunklung verbundene mmodationsveränderung, welche theils in einer Verrückung und Krümsveränderung der Linse, theils in einer Verkürzung des ganzen Auges aler Richtung, theils in einer Erweiterung der Pupille, d. h. in einer rechenden Bewegung der Regenbogenhaut besteht. Beim Wiederen des Auges erfolgen die direkt entgegengesetzten Akkommodationsgungen und es ist klar, dass durch diese rasch nach entgegengesetzeiten stattfindenden Dilatationen und Kontraktionen das Augenwasser sermaassen umgeschüttelt wird und dass in Folge Dessen die herabkenen schwereren und die aufgestiegenen leichteren Körperchen wien das Gesichtsfeld getrieben werden.

Die Entstehung solcher Körperchen im Augenwasser, selbst des norn Auges, ist begreiflich. Da dieses Wasser eine strukturlose sigkeit ist; so kann ihre Ernährung nur von den umliegenden Ge ausgehen. Der Ersatz der durch Resorption oder sonstwie verloren genen und behuf der Frischhaltung auch nothwendig periodisch zu ssenden Flüssigkeit wird naturgemäss in Zellen- oder Tropfen- erfolgen.

Allmählich werden sich diese Tropfen zu normalem Augenwasser en. Bei einem ganz gesunden Auge wird dieser Prozess verhältnissg rasch, bei manchem kranken Auge jedoch so langsam vor sich , dass die fliegenden Mücken sich unangenehm häufen.

Diese Entstehung der Kügelchen erklärt auch die häufige Aneinreihung derselben zu längeren Fäden oder Perlenschnüren. wenn in dem Organe, worin sich die Kügelchen bilden, die Ausung mit solcher Lebhaftigkeit vor sich geht, dass die Kügelchen drängen, mögen sie leicht eine Zeit lang aneinander haften und üre bilden. Namentlich wird Diess bei denjenigen abnormen Zun eintreten, wo überhaupt eine zu reichliche Absonderung statt, sich also die Anzahl der fliegenden Mücken stark vermehrt.

Endlich ist klar, dass bei diesem Vorgange häufig Schnüre, seltener Haufen von solchen Kügelchen entstehen können, weil bei der tion die einzelnen Tropfen aufeinander folgen.

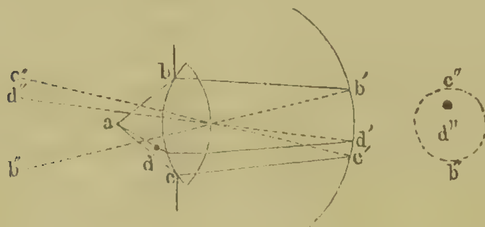
Schliesslich bemerke ich noch, dass bei günstiger Beleuchtung, z. B. em Blicke durch ein feines Loch in eine ganz nahe Flamme bei l fast das ganze Augenwasser aus grösseren und kleineren en der vorstehenden Art zu bestehen scheint, welche sich dem Zu der Auflösung mehr oder weniger nahe befinden mögen.

Auch vermehren sich die fliegenden Mücken zusehends, wenn man

das Auge durch anhaltenden scharfen Gebrauch anstrengt. Die mit Anstrengung verbundene erhöhte Sekretionsthätigkeit wird die natürl Ursache dieser Erscheinung sein.

5. Wahre Bewegung der fliegenden Mücken. Wir habe No. 2 beschrieben, wie sich die Bewegung der fliegenden Mücken unserem Auge darstellt. Diess ist jedoch nicht die wirkliche Beweg die Richtung der wahren Bewegung ist der der scheinbaren di entgegengesetzt. Diess ist eine Sache von besonderer Wichtigkeit erfordert einen genauen Nachweis.

Fig. 461.



Es ist schon beme dass die fliegenden M ken am deutlichsten Blicke durch ein f Loch *a* (Fig. 461) in dem hellen Kreis erscheinen, welchen ganz nahe vor das A gebrachter leuchte Punkt *a* erzeugt. feines Loch, durch welches man blickt, wirkt ebenso wie ein leuchte Punkt *a*: dasselbe erzeugt ebenfalls einen Kreis $b'' c''$, welcher den äu sten Strahlen $a b b'$ und $a c c'$ entspricht, die den Pupillenrand bei b c streifen. Da sich der leuchtende Punkt *a* dem Auge ganz nahe b det; so konvergiren die Strahlen hinter der Netzhaut $b' c'$; der Netzhautbilde $b' c'$ entsprechende Kreis $b'' c''$ ist also von der Art, jeder Punkt seines Umfanges oder seiner Fläche auf der entgegengese Seite der Augenaxe erscheint, als wo der erzeugende Punkt w lich liegt. So gehört der untere Rand b'' des scheinbaren Kre dem oberen Rande der Pupille an.

Ist nun *d* ein Körper vor der Linse, welcher eine fliegende M erzeugt; so erscheint dieselbe bei d'' und es ist klar, dass die sch bare Bewegung der wirklichen direkt entgegengesetzt ist.

Die scheinbar herabsinkenden Mücken steigen also Wirklichkeit auf. Da nun das scheinbare Herabsinken der Zus ist, welchen alle hervorgestossenen Mücken annehmen, wenn sich Auge möglichst ruhig verhält; so folgt unwiderleglich, dass die Kör chen, welche die Mücken erzeugen, wenn sie sich überlassen sind Wirklichkeit vertikal aufsteigen, folglich spezifisch leichter als das Augenwasser. Das geringere spezifische Gewicht dieser Kö harmonirt auch mit der Annahme in No. 4, dass dieselben von den liegenden Gebilden als klebrige, mit ölartigen Tropfen seze werden.

Hierdurch wird auch die scheinbare Bewegung der Mücken in Büschelstrahlen einer nahen Flamme erklärlich. In diesen Strahlen, we für gewöhnlich vom Thränenwasser am Rande des oberen Augen erzeugt werden (§. 59) und welche dann von der Flamme gegen Auge nach unten sich herabsenken, bewegen sich die Mücken im

on der Flamme gegen das vordere Ende der Büschelstrahlen. Diess entricht nun völlig der Entstehung der Büschelstrahlen durch die Divernz der Lichtstrahlen in der Thränenfeuchtigkeit: jeder tiefer und iher erscheinende Punkt eines Büschelstrahles entsteht durch einen chtstrahl, welcher von dem Thränenwasser weiter nach oben gebrochen rd. Die fliegende Mücke, welche im Augenwasser aufsteigt, muss so im Büschelstrahle herabzusinken scheinen: sie muss aber auch in r Richtung des Strahles nach vorn sich zu bewegen oder den Strahl tlang zu gleiten scheinen, da ihre scheinbare Entfernung genau eselbe ist, welche dem betreffenden Punkte des Büschelstrahles angehört.

In den vom unteren Augenlidrande herrührenden, gegen das Auge ıfsteigenden Büschelstrahlen, welche man erhält, wenn man den Kopf ch genug hält, verfolgen die fliegenden Mücken insofern die umgekehrte wegung, dass sie von dem vorderen Ende des Strahles nach der Flamme nzugleiten scheinen, was nach Vorstehendem ganz erklärlich ist, da eses Gleiten immer dem vertikalen Herabsinken entspricht.

Die Strahlen, welche die Büschelstrahlen erzeugen, haben ihren Konrgenzpunkt hinter der Netzhaut: ebenso die von einer feinen Sehffnung oder einem feinen Glanzpunkte, welcher dicht vor das Auge halten wird, ausgehenden Strahlen. Nur vermöge der Beleuchtung soler, hinter der Netzhaut konvergirenden Strahlen werden die in Wirkhkeit aufsteigenden Mücken herabzusinken scheinen. Strahlen jecch, welche vor der Netzhaut konvergiren, müssen diesen Mücken offenr die entgegengesetzte, also die aufsteigende Bewegung verleihen. ess ist auch in der That der Fall. Wenn man das Auge auf eine entrnte Flamme zu nahe akkommodirt, sodass die Strahlen sich vor der tzhaut kreuzen; so nehmen die Mücken in der Sternfigur, welche h nach §. 53 No. 12 bedeutend vergrössert, in ihrem normalen Gange aufsteigende Bewegung an.

6. Bedingungen für die Sichtbarkeit eines entoptischen Körrs. Die entoptischen Erscheinungen haben meines Erachtens für die ysiologische Optik eine erhebliche Wichtigkeit, wesshalb wir denselben e besondere Aufmerksamkeit zu widmen uns veranlasst fühlen. Dass rch Körperchen im Auge Gesichtserscheinungen veranlasst werden, ist sehr leicht ausgesprochener Satz, welchen man wegen seiner anscheiınden Plausibilität keines Beweises für bedürftig hält, welcher aber bei nauerer Prüfung manche Schwierigkeit darbietet und zur Erklärung s eigentlichen Vorganges und der daraus speziell entstehenden Erscheing eigene Untersuchungen nöthig macht.

Ich behaupte nämlich, dass Dasjenige, was jenen Satz ohne Weiteres selbstverständlich erscheinen lässt, gar nicht stattfindet: es ist Voraussetzung, dass jeder undurchsichtige Körper wegen der rch ihn bewirkten Absperrung der Lichtstrahlen den Gesichtsdruck eines dunklen Objektes hervorbringen müsse. Diese Vorauszung ist im Allgemeinen und namentlich im vorliegenden Falle irrthümh: kein entoptisches Körperchen, überhaupt kein sehr kleir Körper, mag derselbe in oder vor dem Auge liegen, und nn derselbe vollkommen undurchsichtig wäre, kann ver-

möge seiner Undurchdringlichkeit eine derartige Gesichtserscheinung hervorbringen. Hierzu kömmt noch, dass die in Rede stehende Erscheinung gar keine Schatten-, sondern eine Lichtfigur ist. Ich behaupte aber auch ferner, dass kein entoptisches Körperchen vermöge der ihm etwa beiwohnenden Leuchtkraft, welche z. B. als Diffusion vorhanden sein könnte, sichtbar werden kann.

Wenn in Fig. 462 fg der Durchmesser der Pupille ist und das Auge durch einen hellen äusseren Raum erleuchtet wird; so dringt in jeder beliebigen Richtung, z. B. in der Richtung des Hauptstrahles $a''c$ ein paralleles Lichtbündel ein, dessen Querschnitt durch die Pupille bedingt ist. Dieses Bündel konzentrirt sich bei gut akkommodirtem Auge im Punkte b'' der Netzhaut. Ebenso sind b, b' die Konzentrationspunkte für die Lichtbündel, welche parallel zu den Axen ac, $a'c$ einfallen.

Fig. 462.

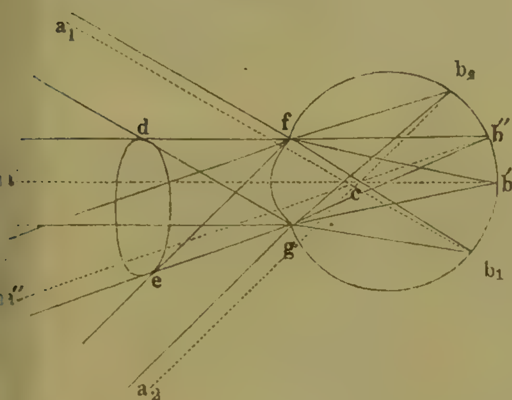
Befindet sich nun in oder nahe vor dem Auge ein sehr kleiner dunkler Körper e von der bei entoptischen Körpern nur in Betracht kommenden Kleinheit, nämlich von einem Durchmesser, welcher erheblich kleiner ist als der der Pupille; so versperrt jener Körper in jedem der eben genannten Lichtbündel eine gleiche Menge von einfachen Lichtstrahlen. Diese Menge ist ausserdem sehr gering im Vergleich zu der Gesammtmenge von Strahlen, welche ein ganzes Bündel ausmachen. Erst bei den sehr steil einfallenden Lichtbündeln, deren Durchschnitt mit der Steilheit immer kleiner wird, fängt das Verhältniss der abgesperrten Menge zu der Gesammtmenge von Lichtstrahlen desselben Bündels an zu wachsen. Allein diese steilen Strahlen entsprechen den äussersten Grenzen des Gesichtsfeldes im Auge.

Die Wirkung des Körpers e besteht also darin, die Helligkeit des ganzen Gesichtsfeldes ein wenig zu ermässigen und zwar an den Grenzen dieses Feldes etwas mehr als in der Mitte. Von der Erzeugung eines Lichtbildes oder von dem Sichtbarwerden des Körpers e ist im entferntesten nicht die Rede. Selbst Körper von der Dicke und Entfernung der Wimperhaare sind ja noch nicht einmal, trotz der grössten Akkommodationsanstrengung, sichtbar.

Wenn der kleine Körper weit genug vom Auge weg, z. B. nach d rückt, sodass sich Strahlenbündel wie $a'c$, $a''c$ bilden können, von welchem kein Theil abgesperrt wird, erscheint derselbe immer mehr als eine schattige Zerstreuungsfigur $b'b''$. Ist der Körper aber grösser als die

ıpille, wie de in Fig. 463; so giebt es Bündel, wie $a'c$ und $a''c$, welche ınz, steilere, welche theilweis, und schliesslich noch steilere wie $a_1 c$, $a_2 c$, welche gar nicht versperrt werden. Die Zerstreuungsfigur $b_1 b_2$, welche in der Mitte am dunkelsten ist, wird dann schon deutlicher.

Fig. 463.

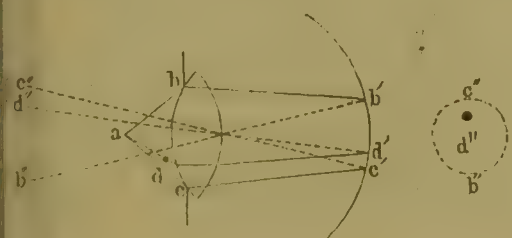


Hierbei ist immer vorausgesetzt, dass das Auge nicht auf das Körperchen, sondern auf den Ausgang des erleuchtenden Lichtes akkommodirt sei. Wäre das Auge fähig, sich auf den Körper d (Fig. 462) zu akkommodiren; so würde Diess einen grossen Einfluss auf die Sichtrkeit desselben haben. Ist nämlich das Auge auf d akkommodirt; so twirft sich von diesem Objekte in der von d durch den Kreuzungspunkt gehenden Linie dc ein scharfes Bild b auf der Netzhaut, wogegen die ss Objekt d umstrahlenden Lichtbündel, welche von entfernteren nkten kommen, nun nicht mehr auf der Netzhaut, sondern vor derselm konvergiren, also Zerstreuungskreise bilden. Da zerstreute rahlen die Netzhaut (insbesondere die Stäbchen) niemals so genau afiren können, wie gehörig konvergirende; so erzeugt nunmehr das harfe Bild b des Körpers d, obgleich dasselbe viel lichtschwächer n mag, als die gleichzeitig in b anlangenden, aber nicht zu konverrrenden, sondern zu verschiedenen Bündeln gehörigen Zerreuungsstrahlen des erleuchteten Raumes, eine deutliche Gehtsvorstellung und zwar eine relativ dunkle, weil die Strahlen ss Objektes d selbst nur schwach sind.

Die Möglichkeit der Akkommodation des Auges auf ganz nahe r der Linse liegende und überhaupt für die im Auge befindlichen rper ist aber nicht vorhanden, dieselbe tritt erst bei Entfernungen von hreren Zollen ein: demgemäss kann auch aus dieser Veranlassung in entoptisches Körperchen sichtbar werden, und insbesondere könnte undurchsichtiges Körperchen, auch wenn dasselbe hierdurch sichtbar irde, kein Lichtbild erzeugen, welches in der Mitte hell ist.

Was den Fall betrifft, wo ein entoptisches Körperchen selbstleuchnd wäre oder Diffusionsstrahlen aussendete; so würde das Netzhautbild des Körperchens d, welches sich näher an der Linse befindet, als der leuchtende Punkt a (Fig. 464), grösser sein, als das Netzhautbild $b'c'$ dieses Punktes a. Ein selbstleuchtendes entoptisches Körperchen würde also als eine Kreisfläche

Fig. 464.



erscheinen, welche grösser wäre, als die ganze Scheibe $b'' c''$, welche sich dem Auge als helles Gesichtsfeld darstellt.

Hierdurch ist nachgewiesen, dass ein selbstleuchtendes entoptisches Körperchen überhaupt nicht, dass aber ein dunkles Körperchen nicht in dem diffusen Lichte des von allen Seiten Strahlen ins Auge sendenden Himmels vermöge der von ihm versperrten Strahlen ein bestimmtes Bild hervorbringen kann.

Jetzt wären die dunklen Körperchen in dem von einem einzigen Punkte ausgehenden Lichte zu untersuchen. Der leuchtende Punkt a erzeugt, indem er die Pupillenöffnung bc bestrahlt, das kreisförmige Netzhautbild $b' c'$. Dieses Bild ist ein Punkt, wenn das Auge richtig akkommodirt ist; es wird aber eine umso grössere Kreisfläche, je unrichtiger das Auge akkommodirt ist. Zwei Fälle markiren sich vor allen anderen: erstens wenn der Punkt a dem Auge ganz nahe liegt, in welchem Falle das Auge stets zu weit akkommodirt ist, sodass der Konvergenzpunkt der Strahlen hinter der Netzhaut liegt; zweitens wenn der Punkt a sehr entfernt ist und man die zu nahe Akkommodation des Auges künstlich erhöht (§. 30), sodass sich die Strahlen vor der Netzhaut kreuzen und die bekannte vergrösserte Sternfigur (§. 53 No. 12) erscheint. Jedes kleine Strahlenbündel wie $a d d'$ erleuchtet jetzt nur eine bestimmte Stelle d' der Netzhaut. Wird nun dieses Bündel durch ein undurchsichtiges Körperchen d abgeschnitten; so bleibt bei d' eine Stelle im Netzhautbilde ohne Licht; es erscheint also in der hellen Scheibe $b'' c''$ bei d'' ein dunkler Fleck von der vergrösserten Form des Körperchens d.

Im Lichte eines einzelnen Punktes oder eines sehr kleinen leuchtenden Körpers kömmt mithin ein undurchsichtiger Körper durch unrichtige Akkommodation des Auges zur Erscheinung, aber jedenfalls als dunkler Kern.

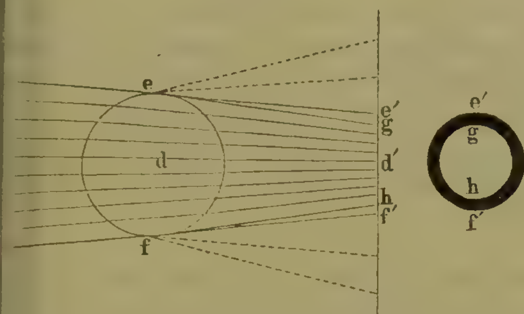
Die fliegenden Mücken erscheinen als helle Kerne, können also keine undurchsichtigen Körper sein.

Ausser der Undurchsichtigkeit verleiht nur noch eine andere Eigenschaft einem entoptischen Körperchen die Fähigkeit, sich zur Erscheinung zu bringen. Es ist die vom umgebenden Medium abweichende Brechbarkeit. Wenn ein Medium keine durchaus gleichförmige Brechbarkeit besitzt, werden die dasselbe durchdringenden, von einem einzigen leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen stellenweise stärker und schwächer konvergiren: die Elementarstrahlen werden sich also auf gewissen Stellen des Netzhautbildes mehr und weniger zusammendrängen oder eine grössere und geringere Helligkeit erzeugen. Eine Wirkung der ungleichförmigen Brechbarkeit haben wir schon in der Sternfigur erkannt, zu welcher ein entfernter leuchtender Punkt sich gestaltet, und in der mit hellen und dunklen Flecken erfüllten Scheibenfigur, in welcher ein sehr naher leuchtender Punkt erscheint.

Ist die Akkommodation des Auges hinreichend falsch, also die Zerstreuungsfigur hinreichend gross; so werden sich auch kleine entoptische Körperchen, wenn sie eine verschiedene Brechbarkeit haben, darin zu erkennen geben. Bricht das Kügelchen d das Licht stärker als das umliegende Medium und zwar nur wenig stärker, sodass der Effekt darin

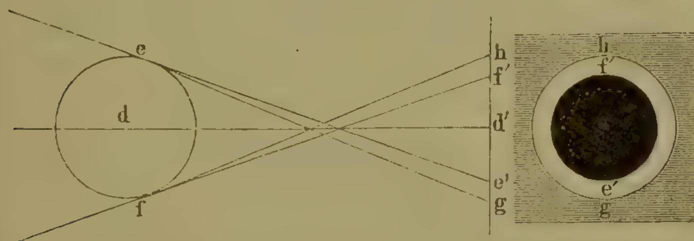
ut, dass die Konvergenz der Strahlen des Bündels dd' in dem zu akkommodirten Auge verstärkt wird, ohne dass sich diese Strahlen er Netzhaut durchkreuzten; so muss bei diesem Akkommodations-nde, also z. B. auf dem hellen Zerstreuungskreise eines sehr nahen Lichtpunktes oder einer sehr nahen Sehöffnung im Netzhautbilde ein hellerer Kreis mit einem dunkleren Ringe entstehen. Denn wenn in Fig. 465 ef das entoptische Körperchen und $e'f'$ die Stelle der Netzhaut ist, welche bei normalem Durchgange von dem fraglichen Strahlenbündel ge- wird; so bewirkt jenes Körperchen, dass sich in der Mitte der $e'f'$ die Strahlen stärker und am Umfange derselben schwächer mmendrängen.

Fig. 465.



Bei dem entgegengesetzten Akkommodationszustande, wenn also das zu nahe akkommodirt ist, wie auf eine entfernte Flamme, bewirkt ärker brechende Kügelchen ef (Fig. 466), dass in einem ausserhalb cheibe $e'f'$ liegenden Ringe sich mehr Strahlen und auf der Scheibe

Fig. 466.



elbst weniger Strahlen zusammendrängen. Das entoptische Körper- erscheint jetzt als dunkle Scheibe mit hellem Ringe; sie er- t auch durch den hellen Ring vergrössert, während bei dem vor- wähnten Akkommodationszustande der äussere helle Ring auf das le Bild selbst fällt, also keine Vergrösserung hervorbringt.

Die fliegenden Mücken erscheinen nun im Kreisbilde eines sehr nahen enden Punktes als helle Scheiben mit dunklem Rande und in ternbilde eines entfernten leuchtenden Punktes (besonders bei künst- Akkommodation des Auges auf die Nähe) als dunkle Scheiben hellem Rande. Hieraus folgt unwiderleglich, dass die Substanz aglichen entoptischen Kügelchen eine stärkere Brechbarkeit, als ngebende Flüssigkeit besitzt, wenngleich sie nach No. 5 spezifisch ter ist, als Letztere. Diese stärkere Brechbarkeit harmonirt aber r That mit der spezifischen Leichtigkeit und der ölartigen Beschaf- it der Tropfen (No. 5); denn alle Öle sind brechbarer und leichter als Wasser.

An dem Tropfen ef (Fig. 465) reflektiren die den Umfang na bei e und f treffenden Strahlen in der Richtung der punktirten Lin und interferiren dabei, erzeugen also um die Scheibe $e'f'$ herum a wechselnd konzentrische Licht- und Schattenlinien, welche si allmählich verlaufen.

Vermöge der vom umliegenden Medium abweichenden Brechbark ist es nun auch möglich, dass die entoptischen Körperchen beim fre Blicke auf eine helle Fläche in diffusem Lichte zur Erscheinung komm können, wiewohl diese Erscheinung alsdann undeutlicher wird. Je me die vor uns liegende helle Fläche geeignet ist, nahezu parallele Strahl ins Auge zu senden, desto bestimmter wird die Figur der fliegend Mücken hervortreten.

7. Wirkliche Grösse der entoptischen Körperchen. Über Grösse der entoptischen Körperchen lässt sich sehr wohl ein genügen Urtheil bilden. Da die Kreisfläche, in welcher ein sehr naher leuchten Punkt erscheint, das Bild der Pupille darstellt; so ist das Grössenv hältniss zwischen einer entoptischen Erscheinung und jenem Kre auch nahezu das Grössenverhältniss zwischen dem entoptischen Körp chen und der Pupille.

Die fliegenden Mücken erscheinen in verschiedener Grösse. Von m lerer Grösse mögen höchstens etwa 100 auf den Durchmesser des fr lichen Kreises gehen. Hat also die Pupille in diesem Zustande etwa ein Durchmesser von 5 Millimeter; so beträgt der mittlere Durchmesser entoptischen Tropfen des Augenwassers etwa 0,05 Millimeter. Ich glau dass ich die mittlere Grösse dieser Tropfen eher zu klein, als zu gr geschätzt habe.

8. Erscheinung der entoptischen Körper durch schlitzförmi Öffnungen. Wenn die nahe vor das Auge gehaltene feine Sehöffnu nicht rundlich, sondern schlitzförmig ist oder auch, wenn man ei feine leuchtende Linie, z. B. die Reflexlinie einer Nadel ganz nahe das Auge bringt; so erscheinen die fliegenden Mücken nicht mehr run sondern als schmale längliche Figuren in der Richtung der leucht den Linie.

Diese Erscheinung erklärt sich daraus, dass sich die Kreisbild welche die einzelnen leuchtenden Punkte erzeugen, aneinanderreihe wobei nur die der Lichtlinie parallelen Grenzlinien besonders hervortre können.

9. Scheinbare Grösse, Entfernung und Geschwindigkeit d fliegenden Mücken. Die Entfernung, in welcher wir die fliegend Mücken zu sehen glauben, ist prinzipiell durch die Konvergenz der v den Mücken ausgehenden Strahlen bedingt und müsste der wirklich Entfernung gleich sein, wenn die Netzhaut auf diese Strahlen richt akkommodirt wäre. Diese Akkommodation ist nicht ausführbar, w dazu eine sehr erhebliche Verlängerung der Augenaxe erforderlich wä sie weicht von der richtigen gewöhnlich sehr bedeutend ab und Die

zur Folge, dass die scheinbare Entfernung der Mücken viel zu ss ist.

Die scheinbare Grösse der Mücken hängt theils von dem Akkomlationszustande der Netzhaut oder der scheinbaren Entfernung, ls von der Divergenz der erleuchtenden Strahlen, welche die sse des Netzhautbildes bedingen, ab. Die Akkommodation auf ssere Entfernung, also die Vergrösserung der scheinbaren Entfernung nehrt auch die scheinbare Grösse; ebenso erhöht die Vergrösserung Netzhautbildes diese Grösse. Im Allgemeinen überwiegt der Effekt Veränderung des Netzhautbildes den Effekt der Veränderung der kommodation so bedeutend, dass jener allein die scheinbare Grösse immt.

Beim Blicke durch eine kleine helle Sehöffnung oder auf einen dicht das Auge gehaltenen Glanzpunkt ist das Auge zu weit akkommodirt; Mücken erscheinen, wie der Glanzpunkt selbst, entfernter als der nzpunkt wirklich ist. Entfernt man den Glanzpunkt vom Auge; akkommodirt sich das Auge weiter und der Glanzpunkt und die ken entfernen sich scheinbar. Mit dieser Entfernung ist zwar eine inbare Vergrösserung verbunden: allein gleichzeitig rückt der hinter Netzhaut liegende Konvergenzpunkt der Strahlen näher an die Netz- heran und erzeugt ein viel kleineres Netzhautbild, wesshalb der nzpunkt und die Mücken sich scheinbar verkleinern.

Auf die Sternfigur einer entfernten Flamme ist das Auge zu nahe ommodirt: die Mücken erscheinen, wie der Stern, näher als die Flamme lich ist. Akkommodirt man das Auge näher; so nähern sich scheindie Mücken: es rückt aber der vor der Netzhaut liegende Konvergenzkt noch weiter von der Netzhaut hinweg, das Netzhautbild vergrössert und demzufolge erscheinen Sterne und Mücken grösser.

Es ist klar, dass die in einem Büschelstrahle herabgleitenden Mücken dieser Bewegung in demselben Verhältnisse, wie diese Strahlen sich eitern, sich zu vergrössern scheinen werden, weil der Konvergenzpunkt Strahlen, welche die vorderen Punkte der Büschelstrahlen erzeugen, o weiter hinter die Netzhaut fällt.

Was die scheinbare Geschwindigkeit betrifft, womit die Mücken iegen scheinen; so ist dieselbe proportional der Grösse des Bildes Kreis- oder Sternfigur), welches der erleuchtende Punkt von der ille entwirft, und dieses ist wiederum proportional der scheinbaren sse der Mücken selbst. Indem sich die Mücke vergrössert, kt sie näher und bewegt sich schneller; indem sie sich verinert, entfernt sie sich und bewegt sich langsamer.

10. Fliessende Massen. Wenn sich das Thränenwasser in genügen- Reichhaltigkeit und gehöriger Wässrigkeit auf die Hornhaut ergiesst, s dasselbe natürlich die Erscheinung fliessender Licht- und Schattenren hervorbringen.

Diejenige klebrige oder fettige Sekretion der Augenlider, welche Erzeugung einer völlig glatten Oberfläche der Hornhaut dient, die genbutter, fliesst aber nicht, sondern spannt sich wie eine zähe elastische Decke über die Hornhaut. Etwaige Anhäufungen von

dieser Feuchtigkeit, wie sie beim Blinken entstehen können, ziehen sich nach dem benachbarten Augenlidrande zurück und erzeugen die schon in §. 60 No. 9 beschriebenen Erscheinungen, welche zwar den Anblick einer fliessenden Masse gewähren, aber doch nicht mit wirklichen Flüssen zu verwechseln sind.

11. Feststehende Licht- und Schattenfiguren. Ausser den beweglichen Körperchen, welche im vorderen Augenwasser und vor der Hornhaut ihren Ort verändern können, erzeugen auch die in der Linse und im Glaskörper liegenden Theile, welche eine verschiedene Brechbarkeit haben, Licht- und Schattenfiguren, welche sich jedoch durch Unveränderlichkeit ihres Ortes und ihrer Gestalt auszeichnen. Die Gesetze, nach welchen sich vermöge dieser Theile dunklere oder hellere Stellen bilden, sind die schon bei den fliegenden Mücken erläuterten: wo die Lichtstrahlen dichter zusammengedrängt werden, erhöht sich die Helligkeit; wo sie auseinander geschoben werden, vermindert sich die Helligkeit. In dem von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Lichte kann auch ein undurchsichtiger Körper sich als Schattenfigur markiren.

Die Sternfigur bei zu nahe akkommodirtem Auge und die Kreisfigur bei zu weit akkommodirtem Auge, in welcher uns ein leuchtender Punkt erscheint, ist das Resultat einer nach einem bestimmten Gesetze vertheilten optischen Dichtigkeit in der Linse und dem Glaskörper. Ausser diesen regelmässigen Figuren ergeben sich dann noch unregelmässige Figuren oder Flecke aus den abnormen Verdichtungen und Verdünnungen und den etwaigen undurchsichtigen Körperchen, welche in jenen Medien vorkommen können.

Die Unveränderlichkeit des Ortes und der Gestalt dieser stehenden Erscheinungen findet nicht im absoluten Sinne statt; sie gilt nur unter der Voraussetzung der Unveränderlichkeit des Akkommodationszustandes. Indem sich dieser Zustand ändert, ändert sich auch die Erscheinung; nimmt also eine gewisse Bewegung an. Diese Bewegung ist jedoch keine dauernd fortschreitende, sondern eine hinundhergehende, entsprechend der abwechselnden Wiederkehr desselben Akkommodationszustandes.

Was zunächst die auf isolirten Körperchen der Linse und des Glaskörpers beruhenden Erscheinungen betrifft; so haben wir auch hier undurchsichtige Körper von solchen zu unterscheiden, welche eine andere Brechbarkeit haben. Ist ein undurchsichtiger Körper vorhanden; so muss derselbe als dunkle Schattenfigur sichtbar werden, wenn man einen Glanzpunkt dicht vor das Auge bringt oder durch eine feine Öffnung blickt, weil derselbe alsdann eine entsprechende Menge des auf die Pupille fallenden Strahlenbündels, welches im Auge nur schwach konvergirt oder gar divergirt, absperrt.

In normal gebauten Augen kommen absolut undurchsichtige oder nur schwach durchscheinende Körper nicht vor: manche Theile besitzen jedoch keine vollkommene Durchsichtigkeit, müssen also schwache Schattenfiguren erzeugen. Hierzu gehören vornehmlich die im Glaskörper liegenden Adern, deren Wände und Blutinhalt zwar sehr durchscheinend sind, aber doch einen Theil des Lichtes absorbiren. Ebenso besitzen die Häute im Innern

askörpers für die nahezu parallel mit ihren Oberflächen laufenden n keine völlige Durchsichtigkeit.

iernach wird sich der von einem ganz nahen Glanzpunkte gebildete nkreis als ein helles Feld mit verschiedenen schattigen Flecken, meistens die Form unregelmässig gekrümmter Streifen haben, nen.

ie Farbe eines Körpers erkennen wir durch das von ihm diffun- Licht. Die von fast parallelen Strahlen getroffenen entoptischen chen können, wenn sie eine besondere Farbe haben, im Lichte ahen Glanzpunktes ihre natürliche Farbe nur vermöge derjenigen n zeigen, von welchen sie durchdrungen werden, und zwar ver- les Antheils an diffundirten Strahlen, welche sie den weissen strahlen bei dieser Durchdringung hinzufügen. Je intensiver das licht ist, desto geringer wird dieser Antheil im Verhältniss zu dem hwächten Lichte sein, überhaupt aber erzeugt die Absorption und rsperrung einen viel erheblicheren Helligkeitskontrast, gegen n jene Färbung verschwindet.

us diesem Grunde erscheinen uns die Adern im Auge nicht roth, n nur als Schatten. Sie verhalten sich wie eine gefärbte wollene (ein einfaches Haar), welches man vor den nahe an das Auge ge- n Glanzpunkt legt. Ein solches Haar ist auch durchscheinend, nt aber unter diesen Umständen in dem hellen Pupillenkreise nicht er natürlichen Farbe, sondern nur als dunkler Schatten.

ämen durchsichtige Körperchen in der Linse oder im Glaskörper elche eine stärkere Brechbarkeit hätten, als das umliegende Me- so müssten sich dieselben als Figuren mit hellem Kerne und er Einfassung kenntlich machen, wogegen Körperchen von cherer Brechbarkeit als dunkle Kerne mit heller Einfassung nen. Im normalen Auge enthält die Linse und der Glaskörper isolirte sche Körper dieser Art nicht, wenigstens nicht in irgend einem her- enden Maasse. Wohl aber bilden ganze Partien dieser Medien von verschiedener und mit der Akkommodation variabeler Dichtig- elche bewirken, dass der von einem nahen Glanzpunkte erzeugte nkreis eine mehr oder weniger regelmässige Licht- und Schatten- ildet, welche sich im Bilde eines sehr entfernten leuchtenden Punk- der bekannten Sternfigur umgestaltet.

brigens ist zu beachten, dass je näher ein Körper von verschiede- echbarkeit an der Netzhaut liegt, desto schmaler die dunkle, elle Einfassung desselben wird, weil die Abweichung der in die- rper gebrochenen Strahlen von den seinen Umfang berührenden n im Netzhautbilde umso geringer ist, je kürzer der Weg von dem chen bis zur Netzhaut ist. In demselben Verhältnisse aber, wie fassung schmaler wird, wird die Gesammtverdichtung oder Ge- erdünnung der Strahlen in der Kernfigur schwächer, desto we- unterscheidet sich also das Bild des entoptischen Kör- ens durch seine Helligkeit oder Dunkelheit von dem übri- esichtsfelde.

Demgemäss können durchsichtige Körperchen, welche dicht der Netzhaut liegen, selbst wenn sie eine ganz andere Brechbark haben wie der Glaskörper, doch nicht sichtbar werden.

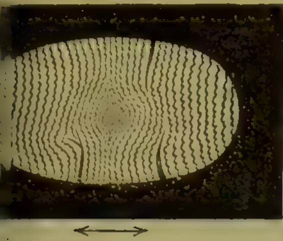
12. Scheinbare Grösse der entoptischen Körper in der Li und im Glaskörper. Dass ein undurchsichtiger Körper, dessen Gr nicht übermässig viel kleiner ist, als die entoptischen Tropfen, welche fliegenden Mücken erzeugen (und das Kaliber einer Ader im Glaskö ist durchaus nicht kleiner, sondern viel grösser als ein solcher Trop in dem Lichte eines ganz nahen Glanzpunktes nothwendig sichtbar den muss, geht daraus hervor, dass die Strahlen eines etwa 14 Millim vor dem Auge liegenden Glanzpunktes (nach §. 8 No. 3) im Auge para laufen und dass dieselben, wenn der leuchtende Punkt noch näher rü sogar divergiren. Für die Entfernung von 14 Mm., in welche einen Glanzpunkt oder eine kleine Sehöffnung bringt, erscheint a ein entoptisches Körperchen gleich gross, mag dasselbe n oder fern von der Netzhaut liegen.

Dieses Resultat lässt sich leicht experimentell kontroliren. Beob tet man den Durchmesser des Feldes, welches der von einer äusserst m Sehöffnung erzeugte helle Pupillenkreis auf dem vor uns liegenden Fen deckt, indem man zugleich den Abstand des Auges vom Fenster m oder entfernt man sich so weit vom Fenster bis jener Pupillenkreis ge eine Glasscheibe deckt; so findet man, dass sich jener Durchmesser zu Entfernung vom Auge oder zur Sehweite des Kreises wie 0,4 : 1 ver wenn das Licht matt und die Pupille etwa 6 Millimeter weit ist, oder 0,3 : 1, wenn das Licht stärker und die Pupille etwa $4^1/_2$ Millimeter weit Der Sehwinkel jenes Kreises beträgt hiernach für die 6 Mm. w Pupille 22 bis 23 Grad und für die $4^1/_2$ Mm. weite 16 bis 17 G Erwägt man nun, dass der Radius der Netzhaut ungefähr gleich 13 ist; so hat das Netzhautbild des fraglichen Kreises im ersten Falle e Durchmesser von $13 . 0{,}4 = 5{,}2$ und im zweiten Falle einen solchen $13 . 0{,}3 = 3{,}9$ Mm. Dieser Durchmesser ist dem der Pupille in be Fällen nahezu gleich, beweis't also die geringe Konvergenz Strahlenkegels im Auge und dadurch die Nothwendigkeit, dass undurchsichtiger Körper vom Kaliber der Adern im Glaskörper durch Strahlen einer nahen Sehöffnung zur deutlichen Erscheinung k men müsste.

13. Bewegliche Wellenfigur. Wenn man durch eine kleine nung gegen den nicht allzu hellen Himmel oder gegen eine Kerzenfla oder gegen ein Blatt weisses Papier blickt und nun diese Öffnung mäs rasch vor dem Auge hinundher bewegt; so bedeckt sich das Gesichts mit feinen geschlängelten Linien, welche am Umfange des Gesichtsfe grössere und in der Mitte kleinere Wellen bilden, sodass sich der Mi punkt als ein fein punktirter Kern darstellt, welcher von gewellten Li umschlossen wird (Fig. 468). Dieses gewellte Feld wird dann noch du einzelne stärker hervortretende Äste durchzogen, welche sich vorzugsw vom Umfange gegen die Mitte erstrecken, indem sie am Umfange des sichtsfeldes am stärksten sind und von dort her fein auslaufen.

Diese Erscheinung, welche mit einem Adernetze eine entferntere Ähn-
it hat, wird mit Purkinje für das Bild der Adern im Auge ge-

Fig. 468.



halten. Weder die Adern, noch die Nervenfasern der Netzhaut, noch irgend welche andere abgesonderte Körper im Auge können jene Erscheinung unmittelbar hervorbringen. Denn diese Erscheinung zeigt sich nur in der bewegten Sehöffnung oder in dem bewegten Glanzpunkte; in der ruhenden Öffnung verschwindet sie sofort und spurlos, was ganz unmöglich wäre, wenn sie entoptischen Körpern ihre Entstehung ver-
e, weil die erzeugende Ursache bei der Ruhe der Sehöffnung wirksam
uerte. Die stärkeren Zweige, welche sich vom Umfange nach der Mitte
strecken, sind nicht von vorn herein vorhanden; sie entstehen im
des Experimentes und ändern ihre Gestalt und Lage, was bei
rzeugung durch Körper im Glaskörper oder in der Linse undenkbar
Die ganze Wellenfigur schwankt in der Richtung der Bewegung
ffnung hinundher, was unmöglich wäre, wenn sie von Körpern her-
sollte, welche nahe vor der Netzhaut liegen. Endlich bemerkt
dass die ganze Wellenfigur durchaus keine bestimmte, einem festen
rsysteme entsprechende ist, dass die geschlängelten Linien vielmehr
gemeinschaftlichen Hauptrichtung parallel laufen und dass
Richtung in Beziehung zum Auge keine feste ist, sondern auf der
ung der Bewegung der Öffnung normal steht, also sich mit
Richtung ändert: lässt man die Öffnung rotiren; so legen sich die
längelten Linien konzentrisch um den Mittelpunkt.

Der Grund dieser Erscheinung ist meines Erachtens folgender. In
der Akkommodation auf einen Punkt nimmt die Linse und der
rper eine bestimmte Form und Dichtigkeitsvertheilung, also eine
mte Lagerung ihrer Moleküle an. Wenn sich dieser Punkt langsam
t, folgt ihm das Auge. Ist diese langsame Bewegung eine hinund-
ende, welche normal zur Sehlinie erfolgt, sodass sich die Entfernung
ändert; so bleibt auch der Akkommodationszustand konstant und
e Augenaxe schwankt hinundher. Übersteigt jedoch die Geschwin-
eine gewisse Grenze; so folgt die Augenaxe nicht mehr vollstän-
ird die Geschwindigkeit noch rascher; so folgt die Augenaxe gar
mehr, sondern bleibt ruhig stehen. Das Netzhautbild des Punktes
t dann um den Pol der Augenaxe und erzeugt das scheinbare
ken des Objektes. Indem der Strahlenkegel die Linse und den
rper immer in anderen Richtungen durchdringt und immer andere
des Sehnerven affizirt, nöthigt er das Auge, seinen Akkommodations-
l oszillatorisch zu ändern: denn wenn auch der verhältnissmässig
Bewegungsmuskel des Auges nicht mehr jenen Schwingungen
jektes folgt; so findet Diess doch noch lange mit der Wirkung der
rvenfasern auf den Zustand der brechenden Medien statt.

Folge dieser wechselnden Affektion von Seiten des Sehnerven,
die Masse der Linse und des Glaskörpers in einen Zustand des
ns und der Molekularoszillation kommen. Der Lichtkegel des

schwingenden Punktes wird also das Auge immer im Zustande unv kommener Akkommodation durchdringen; aber dieser Zustand der vollkommenheit wird im Laufe einer Oszillation variabel sein und für Richtung oder für jeden einfachen Strahl des Strahlenbündels Maximum und ein Minimum haben.

Das Maximum entspricht der grössten Helligkeit und das Mini der grössten Dunkelheit. Der Fusspunkt jedes einfachen Strahles besch also auf der Netzhaut eine Linie, welche nahezu in der Schwingun richtung des Objektes liegt. Bei jedem Hingange wird der Punkt ein am hellsten und einmal am dunkelsten erscheinen. Dasselbe wird jedem Hergange der Fall sein. Das Maximum und Minimum des ganges wird in Beziehung zur Mitte der Schwingung symmetrisch zu Maximum und Minimum des Herganges liegen, d. h. es werden entw die beiden Minimen zwizchen den beiden Maximen oder es werden u kehrt die beiden Maximen zwischen den beiden Minimen liegen. L z. B. die beiden Minimen zwischen den Maximen; so würde ein einfa

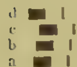
Fig. 469.



Strahl etwa die Erscheinung *a* (Fig. 469) hervorbringen, bei der Pfeil die Richtung der Bewegung bezeichnet. darüber liegender Strahl würde die Erscheinung *b*, ein folgender die Erscheinung *c* hervorbringen. Alle diese scheinungen reihen sich aber zu Licht- und Schattenlinien sammen, welche auf der Bewegungsrichtung etwa normal ste

Hierbei ist vorausgesetzt, dass die Schwingung der Theilchen *a*, nach der einen Seite mit der Schwingung nach der andern Seite symmetrisch sei. Ist Diess nicht der Fall, sind also die Wege Dichtigkeitsveränderungen auf dem Hinwege andere als auf dem Herw so werden die beiden Maximen und auch die beiden Minimen nicht s metrisch liegen und auch nicht gleiche Intensität haben; es vielmehr von den beiden Maximen und auch von den beiden Mini das eine überwiegen und den vorherrschenden Eindruck der Hellig und Dunkelheit machen. Die Erscheinung ist alsdann durch Fig. dargestellt: es erzeugen sich alsdann Figuren, welche einer Schattenlinie neben einer Lichtlinie beste

Fig. 470.



In der That ist der letztere Fall der gewöhnl Denn man beachte, dass weder die Linse, noch der körper zwei ganz homogene Massen bilden. Ihre Dic keit ist schon von Haus aus nicht gleichförmig, s dern nach einer gewissen Figur über ihren Rauminhalt vert Ausserdem aber sind diese Medien von Häuten, Nerven und Ad durchzogen. Diese Gebilde sind der Organisation und Ernährung w nothwendig, bilden aber in optischer Hinsicht Hindernisse sowohl den Durchgang der Strahlen, als auch für eine ganz vollkommene Ak modation. Bei den vorstehend beschriebenen Molekularschwanku werden diese Gebilde der regelmässigen Bewegung in ähnlicher W Störungen bereiten, wie ein Busch den ans Ufer schlagenden Wasserwe Jene Molekularoszillationen werden also durch diese Gebilde bis zu ei gewissen Grade beeinflusst werden und ihr Einfluss wird sich durch Hauptsachen charakterisiren. Einmal wird er die Symmetrie der und der hergehenden Oszillationen aufheben, also vornehmlich einfa

cht- und Schattenlinien erzeugen; ausserdem wird er die spezielle rm der Linienzüge *abcd*, welche in ihrer Hauptrichtung sich rmal auf die Vibrationsbewegung stellen, also die besondere Welgestalt und Verästelung derselben bedingen.

Das Maximum und Minimum der Erleuchtung findet an einer bemmten Stelle des von einem vibrirenden Elemente beschriebenen umes statt: demnach müsste das Bild der hellen und der dunklen Linie ill zu stehen scheinen. Jenes Maximum und Minimum findet auch erhalb einer Schwingungszeit nur in einem Momente statt, indem sein ndruck bis zu diesem Momente allmählich ansteigt und alsdann herabkt. Allein wegen der Dauer des Lichteindruckes wird bei gegend rascher Hinundherbewegung der Lichtöffnung jenes Maxim und Minimum zu einer permanenten Erscheinung. Während nun Masse des Glaskörpers in Folge der Akkommodationsveränderungen ttuirt, schwankt auch die Netzhaut oder vielmehr die Richtung r Stäbchen. Das Stäbchen, welches den Eindruck des Maximums r Minimums empfangen hat und in welchem der Lichteindruck dauernd worden ist, ändert also isochron mit den Hinundhergängen der Lichtnung, also auch isochron mit den Vibrationen des Glaskörpers seine chtung, lässt also die Licht- oder Schattenlinie immer an einem anden Orte erscheinen, oder erzeugt das scheinbare Schwanken der llenfigur.

Aus Vorstehendem geht hervor, dass allerdings die im Auge befindnen Adern die Erscheinung beeinflussen und eine Erscheinung hervoren werden, welche mit ihrem eigenen Zuge eine gewisse Ähnlichkeit r doch Verwandtschaft hat, dass diese Erscheinung jedoch kein optiees Bild jenes Zuges ist, sondern den Dichtigkeitsveränderungen der wankenden Masse der brechenden Medien ihre Entstehung verdankt.

In der Nähe der Axe der Linse und des Glaskörpers ist die absolute vegung der Moleküle dieser Medien offenbar am geringsten, weil die kommodation hier die geringsten Veränderungen erfordert, wogegen e Bewegung nach dem Rande hin immer stärker wird. Ausserdem hält die Zentralgegend des Auges die wenigsten Adern. Demgemäss hnet sich die Mitte der Figur durch Feinheit der Zeichnung und einbare Ruhe, der Rand jedoch durch kräftigere und weiter schwingende ien aus, welche auch hinundwieder, je nach der Affektion der Linse des Glaskörpers, vom Rande her sich zu einzelnen stark markirten gen gestalten.

Endlich leuchtet ein, dass die Wellenfigur nur in dem zerstreuten illenkreise eines ganz nahen Glanzpunktes oder einer nahen Sehöffnung stehen kann. Denn wenn das Strahlenbündel ziemlich gut auf der zhaut konvergirt, ist das Bild jedes Punktes so klein und die scheine Bewegung dieses Bildes so gross, dass die Wellenfigur darin nicht ır erkannt werden kann. Ebensowenig kann die Erscheinung in der rnfigur eines entfernten leuchtenden Punktes entstehen: denn wenn einen solchen Punkt auch wohl die sternförmige Zerstreuungsfigur ss genug wäre, um darin eine Wellenfigur zu erkennen; so ist theils scheinbare Bewegung des Sternes, wenn der entfernte Punkt bewegt d, zu gross, theils die Veränderung der Medien, welche das Schwanken

eines entfernten leuchtenden Punktes erfordert, zu gering, um eine kräftig und erkennbare Wellenfigur zu erzeugen.

14. Aderfigur. Ein im Glaskörper eingeschlossenes Gebilde wird die Oszillationen umso kräftiger beeinflussen, je näher es den Stellen liegt wo der Ausschlag dieser Oszillationen in seiner relativen Beziehung zu dem korrespondirenden Punkte der Netzhaut am grössten ist und umgekehrt wird das Hinderniss da nur schwach sein, wo nur geringe Bewegungen in Beziehung zu der Netzhaut vorkommen. Hiernach können all solche Gebilde keine erhebliche Wirkung äussern, welche nahe an der Netzhaut vor ihren optischen Bildern liegen: denn die relative Bewegung in Beziehung zur Netzhaut kann hier nur schwach sein. Ebenso können diejenigen Gebilde keinen starken Einfluss ausüben, welche nahe an der Augenaxe liegen, weil die Symmetrie des Auges um diese Axe es unmöglich macht, dass in der Nähe derselben starke Molekularbewegungen vorkommen.

Am kräftigsten müssten diejenigen Gebilde wirken, welche in einiger Entfernung von der Augenaxe im Glaskörper liegen, besonders wenn ihre Bilder auf Netzhautstellen fallen, welche möglichst weit von dieser Axe liegen, indem hier auch die Richtung der Netzhaut oder der Stäbchen die meiste Änderung erleiden wird. Die seitwärts von der Augenaxe liegenden Gebilde können nun zwar wegen der Enge der Pupille nicht gut auf gewöhnlichem Wege von Lichtstrahlen erreicht werden: es ist aber klar, dass wenn die Pupille bei dem obigen Experimente sich erweitert und verengt, sie das Auftreten und Verschwinden einzelner starken Linien, welche vom Umfange her in die Wellenfigur eindringen bewirken muss.

Ausserdem erkennt man, dass Lichtstrahlen, welche seitwärts von der Pupille ins Auge befördert würden, eine ausserordentliche Erscheinung der obigen Art hervorbringen müssten, indem sie den Einfluss fast des gesammten Adernetzes des Glaskörpers auf die Molekularschwingungen desselben durch ein entsprechendes Bild zur Anschauung bringen könnten. Da die harte Haut durchscheinend ist; so lässt sich dieses Ziel nach den Versuchen von Listing dadurch erreichen, dass man das weit geöffnete Auge stark nach innen kehrt und nun durch ein feines Loch eines dunklen Kartons einen Sonnenstrahl auf die harte Haut fallen lässt. Um die Erscheinung recht lebhaft zu machen, muss die Pupille gegen eine dunkle oder doch nur schwach erleuchtete Fläche gerichtet werden. Alles Dieses erzielt man leicht durch einen grossen Bogen Pappe, welcher ein kleines Sehloch hat. Man biegt denselben um das ganze Gesicht, blickt erst durch das Loch direkt in die Sonne und verdreht dann das Auge, indem man die Augenlider recht hoch geöffnet hält, möglichst weit nach innen oder nach aussen, sodass das Lichtloch nicht mehr sichtbar ist und der Lichtstrahl auf das Weisse des Auges fallen muss.

Wenn der Pappschirm jetzt hinundher bewegt wird, erscheint eine ausgedehnte kräftige Aderfigur von schwarzen verästelten Linien welche helle Linien neben sich haben. Die Figur bleibt zwar in gewissen Hauptzügen nahezu dieselbe, gleichviel ob man die Öffnung horizontal oder vertikal hinundher oder im Kreise herum bewegt oder ob man

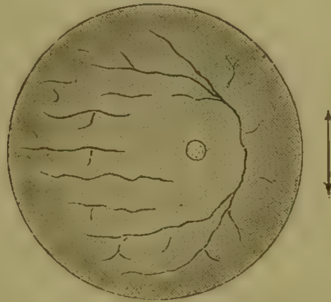
ichtstrahl rechts oder links von der Pupille auf die harte Haut fallen allein identisch bleibt diese Figur nicht; sie ändert sich vielmehr ren Details ziemlich erheblich und zwar so, dass sich die Zweige lichst normal zur Bewegungsrichtung zu stellen suchen.

Hierdurch gewährt die Aderfigur des rechten Auges, wenn die harte von der rechten oder äusseren Seite erleuchtet wird, etwa das Ausder Fig. 470 bei der horizontalen Bewegung der Öffnung und das hen der Fig. 471 bei der vertikalen Bewegung. Lässt man den

Fig. 470.



Fig. 471.



strahl auf die linke oder innere Seite des Auges fallen; so zeigen die Hauptäste etwa in der Gestalt von Fig 472 und 473.

Fig. 472.

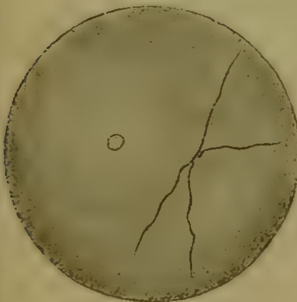
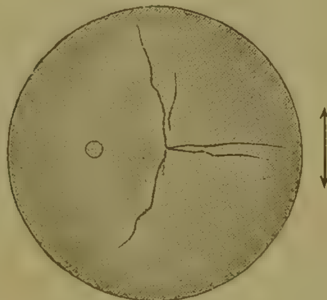


Fig. 473.

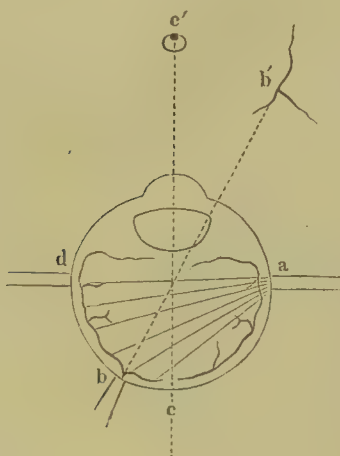


In der Hauptsache erkennt man einige Hauptäste der Adern, welche er Eintrittsstelle des Sehnerven in das Auge treten und sich von aus verzweigen. Links von jener Eintrittsstelle zeigt sich als fein tirter Fleck der in der Augenaxe liegende gelbe Fleck. Bei der gung des Blattes schwankt die Aderfigur wie das Blatt selbst, der dern freie gelbe Fleck bewegt sich jedoch scheinbar nur sehr wenig.

Fig. 474 (a. f. S.) erläutert den Vorgang. Wird das rechte Auge von echten Seite bei a bestrahlt; so entsteht im Innern des Auges, da die Haut nicht durchsichtig, sondern nur durchscheinend ist, ein heller t, welcher sein Licht in allen Richtungen durch den Glaskörper dirt. Der Glaskörper wird also von a aus durch Strahlen nahezu in lben Weise durchdrungen, wie es bei einem unmittelbar vor der haut liegenden leuchtenden Punkte geschieht: die Divergenz der len wird nur erheblich grösser sein und sich fast über die ganze

Netzhaut verbreiten, also nicht bloss die im Bereiche eines gewöhnlich Strahlenkegels liegenden, sondern fast alle im Glaskörper vorkomme den Gebilde treffen. Eine Akkommod tionsanstrengung auf den leuchtend Punkt *a* wird stattfinden und wenn diese auch nicht normal ist; so wird doch je von einem Lichtstrahle getroffene Nerv faser der Netzhaut in Folge dieses Rei die brechenden Medien in bestimmter We beeinflussen. Eine Bewegung des leucht den Punktes *a* muss also auch jetzt Flukt tionen im Glaskörper und dadurch ein u gefähres Bild des Adernetzes erzeugen.

Fig. 474.



In dem Phänomene werden sich die be entspringenden Hauptäste der Adern und d in der Augenaxe liegende gelbe Fleck *c* b sonders auszeichnen, indem die Eintrittsste *b* der Adern und des Sehnerven, welche Wirklichkeit links von *c* liegt, in *b′* rech von *c′* erscheint.

Wird das Auge auf der linken Seite bei *d* erleuchtet; so bleiben Hauptsachen ungeändert, die Erscheinung also im Wesentlichen diesel Während jedoch bei der Erleuchtung von *a* her mehr die rechts von liegenden Adern *bc* den grösseren Einfluss ausüben, verursachen bei d Erleuchtung von *d* her die von *b* links ziehenden Adern *bd* die stärke Störung: es erscheinen also im ersteren Falle die Adernzüge besonders der Richtung nach links, während im ersteren Falle auch nach rech hin solche Züge sich stark geltend machen.

Den eigentlichen Eintrittspunkt *b* der Adern kann man niem scharf sehen, weil diese Stelle, welche den unempfindlichen od blinden Fleck im Auge bildet, eine kleine Erhöhung besitzt, welc nicht den Eindruck einer normal affizirten Netzhautstelle hervorbring kann. Diese Stelle erscheint übrigens keineswegs als schwarzer Fle bestätigt also unsere in §. 23 ausgesprochene Ansicht, dass diese Ste nicht eigentlich unempfindlich sei, sondern nur nicht wie eine Kug fläche affizirt werde, also kein scharfes Bild von einem Objekte produ ren, sondern nur den Lichteindruck zerstreuen könne.

15. Das Herabsinken des Gesichtsfeldes in der Wellenfigur. Lage des physiologischen Poles. In der Erscheinung der Wellenfig ist noch die Wahrnehmung von Interesse, dass das Gesichtsfeld unaufha sam herabzusinken strebt, besonders wenn man den in der Mitte si markirenden gelben Fleck zu fixiren sucht. Das Herabsinken in vertika Richtung ist von der Richtung der Bewegung der Lichtöffnung ganz u abhängig. Dasselbe kann nur darin seinen Grund haben, dass der ph siologische Pol der Augenaxe (§. 10 No. 4) in der Wirklichkeit nic genau im Zentrum des gelben Fleckes, sondern etwas tiefer oder me nach seinem untern Rande hin liegt, sodass in der Wellenfigur d

Pole korrespondirende Punkt höher als jenes Zentrum oder nach oberen Rande des Fleckes hin liegt.

Mit dem Pole des Auges allein sieht man vollkommen scharf um einen Punkt vollständig zu sehen, richten wir genau Augenaxe auf denselben. Will man also den sich durch Form Lichtstärke auszeichnenden gelben Fleck deutlich ansehen; so muss die Augenaxe abwärts neigen. Dieser Fleck ist aber nicht das Bild äusseren festen Objektes, sondern hat seinen Grund im Auge selbst: m wir also die Augenaxe neigen, sinkt der Fleck mit herab zwar so lange, wie wir in der Tendenz, seinen Mittelpunkt zu fixiren, hren.

Hieraus folgt, dass wenn man nicht den Mittelpunkt, sondern einen höher gelegenen Punkt des gelben Fleckes fixirt, das Herabsinaufhören und das ganze Gesichtsfeld an seinem Orte veren muss. Diess bestätigt sich in der That und man kann auf diese e leicht die genaue Lage des Poles seines Auges ermitteln. Übriist es zu dieser Erscheinung nothwendig, dass man das Auge bei der achtung der Wellenfigur nicht auf ein zu nahes oder zu deutlich erbares Objekt richtet, dass überhaupt durch die Wellenfigur kein zu f hervortretendes Objekt durchscheint. Denn ist letzteres der Fall; mmt das Auge in die Lage, ein festes Objekt zu fixiren, wodurch lbe natürlich an jeder Bewegung gehindert wird.

Fixirt man allgemein irgend einen Punkt des Gesichtsfeldes, ausser m Pole; so weicht das ganze Feld nach dieser Seite hin aus. Man dasselbe daher nie vollkommen scharf, sondern nur indirekt wie sgedehntes Objekt beobachten, von welchem man nur einen bestimm-Punkt fixirt.

Läge der Pol des Auges bei Jedermann am unteren Rande des n Fleckes; so müsste man daraus schliessen, dass die Augen mehr f eingerichtet wären, bei ihren gewöhnlichen, nahezu horizontalen ngen, mehr den unteren Theil des vor ihnen liegenden Gesfeldes, als den oberen Theil desselben genau zu übersehen. scheint mir in der That ein natürliches Bedürfniss zu sein, da es lgemeinen wichtiger und nothwendiger ist, bei der Fixirung eines tes Alles zu sehen, was zwischen jenem Punkte und uns nach unten als was zwischen jenem Punkte und uns nach oben liegt.

Übrigens bezieht sich das Vorstehende nur auf die Lage des physiolon Poles in meinem Auge, und zwar im rechten und linken Auge. Ob e Augen nicht andere Abweichungen zeigen, lasse ich dahin gestellt sein. hholtz (Physiologische Optik S. 70) hat, wahrscheinlich auf dem Wege ter Messung der Visirlinien gefunden, dass der physiologische Pol rer Augen nicht in vertikaler, sondern in horizontaler Richtung ab-Helmholtz fand, dass jener Pol nach aussen, also gegen das äfenbein vom geometrischen Pole verrückt war. Ob nun der etrische Pol in diesen Augen mit dem Zentrum des gelben Fleckes menfiel, hat Helmholtz nicht am angezeigten Orte nachgewiesen: r Unkenntniss hierüber ist aber keine sichere Vergleichung mit un-Resultate möglich.

Man erkennt, dass die vorstehende Beobachtung der Wellenfigur

ein sehr bequemes Mittel ist, die Lage des physiologischen Poles des Mittelpunktes des Sehfeldes gegen den gelben Fleck di wahrzunehmen, dass jedoch zur Vergleichung jenes Poles mit dem g metrischen Pole andere Beobachtungen nöthig sind, weil der letz Pol sich nicht als ein sichtbarer Punkt markirt. Man erzeugt die We figur, indem man durch das Loch eines möglichst grossen dunkelfarb Kartons gegen den hellen Himmel blickt und einen etwa in der Fen scheibe angebrachten sichtbaren Punkt fixirt. Das Auge wird dann gefesselt und das Bild des gelben Fleckes stellt sich so, dass j Punkt auf den physiologischen Pol fällt. Man findet, dass der so fi Punkt nicht ganz feststeht, sondern sich etwas hinundher bewegt und das Bild des gelben Fleckes diese Bewegung theilt. Da nach uns Hypothese die Masse des Glaskörpers und der Linse in wogender wegung ist und eben dadurch ein Schwanken jedes Lichtstrahles die ganze Wellenfigur erzeugt; so ist jenes Schwanken des fixirten P tes ganz erklärlich und dient jener Hypothese zur Bestätigung.

16. Erscheinung der Linsenfigur. In dem runden Gesichtsf welches eine nahe vor das Auge gehaltene kleine leuchtende Öffnung überhaupt ein naher leuchtender Punkt von der Pupille entwirft, ers nen die in §. 54 No. 3 erwähnten, aus der Akkommodation auf zu g Sehweite verbundenen hellen Strahlen. Diese Strahlen entsprechen sternförmigen Struktur der Linse (§. 4 No. 9), welche sich be stattfindenden ungenauen Akkommodation in einer ungleichmässigen theilung der Dichtigkeit ausprägt.

Fig. 475 stellt die Linsenfigur des linken Auges von Ruete, Fig eine von Listing mitgetheilte Linsenfigur und Fig. 477 die Linsen meines rechten Auges dar.

Fig. 475.

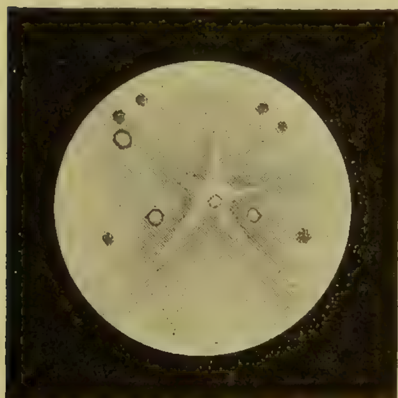


Fig. 476.



Die Linsenfigur ändert ihre Form mit dem Akkommodation stande oder der Grösse des Zerstreuungskreises, also der Lag Konvergenzpunktes des Strahlenbündels.

Je mehr sich der leuchtende Punkt dem Auge nähert oder je w der Konvergenzpunkt des Strahlenbündels hinter die Netzhaut fällt

rösser der helle Pupillenkreis wird, desto mehr verliert sich die ·fe Begrenzung der hellen Strahlen und desto mehr geht das Ganze in eine Kreisfläche von gleichförmiger Helligkeit über. Entfernt sich der leuchtende Punkt vom Auge, rückt also der Konvergenzpunkt des Strahlenbündels der Netzhaut von hinten näher, wobei sich das Pupillenfeld verkleinert und gleichzeitig sich die Akkommodationsanstrengung vermindert oder die Sehweite vergrössert; so markirt sich die Sternfigur immer mehr; endlich tritt das Feld gegen den Stern ganz in den Hintergrund: die Strahlen erscheinen an der Peripherie dicker und glänzender als am Zentrum. Bei fortgesetzter Bewegung werden die Strahlen feiner und

Fig. 477.



ıer und der ganze Stern reduzirt sich auf einen Punkt, wenn das ıhlenbündel auf der Netzhaut konvergirt. Bei fernerer Bewegung, wo Konvergenzpunkt vor die Netzhaut fällt, also das Auge zu nahe ommodirt ist, kehrt sich der Stern diametral um und nimmt die mit Entfernung immer regelmässiger werdende Sternfigur aus §. 53 an. letztere Sternfigur ist daher ebenso gut ein Linsenbild wie die vorende; sie entspricht der zu nahen Akkommodation, während Fig. 477 Falle der zu weiten Akkommodation angehört. In beiden Fällen ıiren sich elf Hauptstrahlen: bei dem Übergange von der zu nahen die zu weite Akkommodation verrücken und verdrehen sich jedoch Strahlen mehr oder weniger, sodass in beiden Sternfiguren die Strahnicht gerade diametral einander gegenüber liegen. Überhaupt erscheint Stern für die zu weite Akkommodation auf einen sehr nahen leuchen Punkt unregelmässiger, als der Stern für die zu nahe Akkomation auf einen sehr entfernten Punkt.

§. 65.

rvenprozess, auf welchem der Farbeneindruck beruht. Natur der Farben.

1. **Qualitätsänderung der Nervensubstanz als Grundlage des beneindruckes.** Wir haben uns schon früher (§. 20) dahin ausgeıchen, dass nach unserer Ansicht die Besonderheit des im Sehnerven sich gehenden physiologischen Prozesses, welcher im Gehirne den geien Eindruck der Farbe bedingt, zwar durch die besondere Vibransgeschwindigkeit, womit der ins Auge fallende Lichtstrahl den lpunkt des Sehnerven in der Netzhaut affizirt, hervorgerufen oder geleitet wird, dass jedoch nicht diese Vibrationsgeschwin-

digkeit oder die Schnelligkeit, womit in dem Sehnerven Wechsel von Zuständen vor sich geht, die physiologische Grund des Farbeneindruckes ist, sondern dass diese Grundlage in den durch Anregung erzeugten stofflichen Veränderungen oder in den Verä rungen der Qualität der Stoffe besteht. (Demgemäss haben wir den Farbeneindruck nicht für eine Vorstellung oder eine Vers desthätigkeit, sondern für eine Empfindung oder eine Gemü thätigkeit erklärt, vergl. meine dessfallsigen Ansichten in „Kö und Geist".)

Bei der näheren Spezialisirung dieses stofflichen oder Qualit prozesses und dem zwischen diesem Prozesse und der korrespondire Farbe bestehenden Abhängigkeitsgesetze kann es nicht unsere Absicht die Körperstoffe oder die Qualitätsveränderungen der Nervensubstanz ziell zu bezeichnen, welche bei den verschiedenen Farben auftr hierzu liegen zu wenig oder eigentlich noch gar keine Beobachtungsr tate vor: wir können vielmehr nur unternehmen, die generellen genschaften jenes Prozesses nach Wahrscheinlichkeitsgründen zu beleucl

Zu diesem Ende bemerken wir zunächst, dass solange die Vibrat geschwindigkeit des erregenden Lichtstrahles unter einem Minimum l welches etwa 480 Billionen Schwingungen in der Sekunde einer Wellenlänge von 0,00065 Millimeter) beträgt, eine unter gewö chen Umständen wahrnehmbare oder dem normalen Sehen entsprech physiologische Wirkung nicht eintritt. Bei der Überschreitung d Schwingungszahl entsteht die Empfindung des äussersten prismatis Roth.

Jede Vibrationsgeschwindigkeit entspricht einer bestimmten Wel länge, d. h. einer bestimmten Entfernung zwischen zwei solchen Pun des in Lichtvibration versetzten Körpers, in welchen gleichzeitig diese Schwingungszustände stattfinden, zwischen welchen also das g Spiel der momentan obwaltenden verschiedenen Schwingun zustände liegt. Das einer Wellenlänge entsprechende Stück des vibri den Körpers bildet gewissermaassen das räumliche Element des Lic strahles oder der Lichtthätigkeit in diesem Körper.

Mit zunehmender Vibrationsgeschwindigkeit nimmt Wellenlänge in direktem Verhältnisse ab. Mit dieser Veränderung physikalischen Prozesses ist eine Veränderung des Qualitätspro ses und demzufolge eine Veränderung des Farbeneindruckes bunden.

Wenngleich Wachsthum der Vibrationsgeschwindigkeit in gewi Hinsicht einer Steigerung der Energie der Lichtthätigkeit entspricht muss doch Verminderung der Wellenlänge von einer gewissen Grenz als eine Abschwächung dieser Thätigkeit in gewisser Hinsicht, nament als ein Hinderniss für den Qualitätsprozess angesehen werden, wenn das ganze Spiel der Bewegungen und Wirkungen auf einen im kleineren Raum eingeschränkt wird, endlich eine Grenze erreicht wer muss, wo die zu einer chemischen Thätigkeit erforderliche Sonderung bundener und die Zusammenführung getrennter Elemente nicht mehr in für den Sehprozess erforderlichen Maasse stattfindet. (Für die Mögl keit anderer Qualitätsprozesse, z. B. chemischer Prozesse in anorg

n Körpern kann und wird die fragliche Grenze der Wellenlänge eine ere sein, wie für den Sehprozess.)

Wenn daher die Vibrationsgeschwindigkeit sich so hoch gesteigert dass die Schwingungszahl den Betrag von 760 Billionen in Sekunde überschreitet und demzufolge die Wellenlänge unter Betrag von 0,00040 Millimeter herabsinkt, was bei der äussersten letten Farbe der Fall ist; so findet unter gewöhnlichen Umständen e wahrnehmbare oder dem normalen Sehen entsprechende Licht-kung mehr statt.

Allerdings können ultrarothe und ultraviolette Strahlen, wenn ihre nsität über das Maass gewöhnlicher Lichtintensitäten bedeutend ge-gert oder wenn durch Abschluss alles übrigen Lichtes die Netzhaut zur rnehmung abnorm schwacher Affektionen besser befähigt wird, einen nt- und Farbeneindruck hervorbringen: allein die Abnormität dieser hältnisse berührt das Prinzip der Farbenerscheinung ebenso wenig, die Thatsache, dass Licht und Farben auch durch ganz fremdar-e Affektionen, z. B. durch Elektrizität, mechanischen Stoss, Wärme, nische Reagentien erzeugt werden können. Wir lassen daher vorläufig ultrarothen und ultravioletten Strahlen ausser Acht, werden aber später n Auftreten erläutern.

Wenn irgend Etwas dazu geeignet ist, die Annahme, dass der siologische Farbeneindruck nicht auf der Vibrationsgeschwindig-., sondern auf der Qualitätsänderung beruht, zu bestärken; so ist lie aus dem Spektrum ersichtliche Thatsache, dass sowohl bei Verminderung der Schwingungszahl, als auch bei der Verminde-g der Wellenlänge der Lichteindruck nicht allmählich, sondern mlich abrupt aufhört (eine Thatsache, welche dadurch nicht itigt wird, dass wirklich noch sichtbare ultrarothe und ultra-ette Strahlen existiren, indem dieselben doch immer im Vergleich zu r objektiven Intensität eine nur sehr unerhebliche physiolo-che Wirkung thun). Unbestreitbar findet die mechanische oder ysikalische Thätigkeit, d. h. die Oszillation der Äthertheilchen die relative Bewegung zwischen Äther und Ponderabelem in den venmolekülen auch bei der Überschreitung der eben bezeichneten len Grenzen statt, gleichwie die Moleküle eines materiellen Körpers ch jeden mechanischen Impuls in Vibrationen kommen, wennschon der urch erzeugte Ton nicht immer hörbar ist. Wenn überhaupt der e Äther fähig ist, mit kleinerer und grösserer Schwingungszahl, als Grenzen des Spektrums entspricht, zu vibriren, und das ist er nach kten Beobachtungen der sogenannten ultravioletten Farbenstrahlen, chemischen Strahlen und der Wärmestrahlen in der That; so d er auch jeden für seine Affektionen empfänglichen Körper, das anorga-he durchsichtige (und diathermane) Glas so gut wie das photogra-sche Chlorsilber und die Substanz des Sehnerven durch jede rationsgeschwindigkeit in die entsprechende Bewegung versetzen. Be-te nun der Farbeneindruck auf dem Mechanischen dieses Prozesses, entlich auf der Vibrationsgeschwindigkeit; so könnte der Licht-druck bei einer geringen Überschreitung gewisser Grenzen, wenn selbe bis an diese Grenzen stark und normal ist, nicht plötzlich

erlöschen oder doch plötzlich auf ein unscheinbares Minimum h absinken: er müsste vielmehr mit grosser Allmählichkeit sowohl der Höhe wie in der Tiefe seine Wahrnehmbarkeit verlieren. Ein g anderes Gesetz für die Sichtbarkeit ergiebt sich, wenn die Grundlage Farbeneindruckes das Qualitative des Stoffes ist. Denn die Quali die Art, die Neigung ändert sich nicht gleichmässig oder proporti mit Intensität und Geschwindigkeit der mechanischen Impulse; erweist sich im Entstehen, im Verschwinden und in ihren Veränderun eigenthümlich und zeichnet sich mehr durch Plötzlichkeit, als du Allmählichkeit ihres Wechsels aus.

2. Neutralität des weissen und Aktivität des farbigen Licht Um über die Grundeigenschaften, wodurch sich die den verschiede Farben zukommenden Qualitätsprozesse voneinander unterscheiden, Hy thesen aufstellen zu können, müssen wir die Beziehungen, welche zwisc den physiologischen Eindrücken der verschiedenen Farben bestehen, n einer näheren Betrachtung unterwerfen.

Das weisse Licht, worunter man streng genommen das abso weisse, nicht das gelbliche Licht der Sonne zu verstehen l besteht in seiner objektiven Beschaffenheit, d. h. als Bewegu zustand oder Strahl des Äthers, aus einer unzähligen Menge elem tarer oder einfacher Strahlen von verschiedener Farbe und Int sität. Die mathematische Theorie des Lichtes und das Experiment, w ches das weisse Licht in farbiges trennt und farbiges zu weissem verein lassen hierüber keinen Zweifel obwalten. Gleichwohl ist der physic gische Eindruck des weissen Lichtes durchaus nicht der eines Ge sches von ungleichartigen Bestandtheilen, worin jeder Theil seine Eig thümlichkeit bewahrte. Wir sehen im weissen Lichte keine Spur von R oder Gelb oder Blau; der weisse Strahl verhält sich nicht wie Akkord, in welchem wir eine Verschmelzung einzelner Töne hör das weisse Licht erscheint uns einfach, wie eine besondere Far Alles dieses erklärt sich nur dadurch, dass der physiologische Farben druck nicht auf dem Bewegungs- oder dem Quantitätsgeset sondern auf dem durch die physikalische Thätigkeit in der Nervens stanz erweckten Qualitätsprozess beruht: denn nur die Qualitätsp zesse, insbesondere die chemischen Prozesse bieten das Eigenthümliche c dass die in ihren Produkten sich zeigenden Artunterschiede ein Prinzipe, dem Qualitätsprinzipe oder dem Prinzipe der Neigu gen folgen, welches mit dem Quantitätsgesetze gar keine Vergleic momente darbietet.

Vergleicht man den Eindruck des weissen Lichtes mit dem des fa gen; so zeigt sich ein Unterschied, in Folge dessen man den Charakter weissen Lichtes einen neutralen und den des farbigen Lichtes ei aktiven nennen kann. Während nämlich jede Farbe, wenn dieselbe a nur in kleinster Intensität zu einer anderen hinzukömmt, diese zw Farbe verändert, ihr einen Anflug von sich selbst giebt, so veränd im Gegentheil die weisse Farbe, und wenn sie in nochso gross Intensität zu einer anderen hinzukömmt, diese Farbe nicht oder d nur in einem mit ihrer Intensität in keinem Verhältnisse stehenden schw

en Grade und gleichwohl nicht spezifisch, sondern gewissermaassen : graduell. Durch Beimischung von Weiss bleibt das Rothe roth, : Gelbe gelb, das Grüne grün u. s. w., behält auch seine Nuance bei l wird nur heller: durch Beimischung von Roth dagegen ändern sich › Farben theils zu ganz anderen, theils zu anderen Nuancen um. In n Scheine eines rothen bengalischen Lichtes verschwinden fast alle ·ben und alle Gegenstände werden röthlich: das Sonnenlicht dagegen st alle Gegenstände nahezu in ihren natürlichen Farben erscheinen.

Dass es Licht von diesem neutralen Charakter, daneben aber auch cht mit aktivem Charakter giebt, oder vielmehr, dass unser Auge id Organismus so eingerichtet ist, dass manches Licht sich neutral, nches dagegen aktiv verhält, ist eine besondere Naturweisheit. Denn nrend der aktive Charakter die Besonderheit und Selbstständigkeit Farben bedingt, in Folge dessen Mischungen und Nuancen glich sind, worin die einzelnen Farben ihre spezifische Wirkung beibe- ten, während also der aktive Charakter die unendliche Mannichfal- keit der Farbeneindrücke ermöglicht, ist der neutrale Charakter es gewissen Lichtes das Mittel, verschiedene Helligkeits- oder Be- chtungsgrade zu erzeugen, ohne jenes wundervolle Farbenspiel zerstören.

3. Physikalische Ursache der grossen Verbreitung des weis- ı Lichtes. Eine ebenso grosse Zweckmässigkeit müssen wir auch in erkennen, dass die meisten und wichtigsten Lichtprozesse in der tur, welche die Erde beleuchten und das Wachsthum und deihen ihrer Geschöpfe befördern, dass der Lichtprozess der nne, der Gestirne und der meisten Flammen oder selbst- ichtenden Körper, gleichviel ob ihnen Gas, Öl, Holz, Metall oder anderer Stoff zu Grunde liegt, ebenso wie alle elektrischen und gnetischen Lichterscheinungen ein nahezu weisses Licht spen- , oder vielmehr, dass unser Auge so eingerichtet ist, um dieses in der ur so häufig erscheinende Licht als weisses oder neutrales zu finden. Allein wir fragen doch nach dem physikalischen Grunde, cher es bewirkt, dass die häufigen Lichtprozesse der Natur kein faches, sondern ein aus allen Farben zusammengesetztes ht aussenden oder dass dieses zusammengesetzte Licht sich so cht fast überall, d. h. bei den meisten Leuchtprozessen erzeugt.

Jeder Stoff, der eine mehr, der andere weniger, ist für jede ein- ne Farbe und für jedes Farbengemisch empfindlich und zwar so- hl chemisch, als auch mechanisch, welches Beides stets Hand in ıd geht. Die mechanische Empfindlichkeit erkennen wir z. B. daran, dass r undurchsichtige Körper jeden Strahl mit derselben Farbe reflek- t, oder dass jeder durchsichtige Körper jeden Farbenstrahl (wennauch ändert) durchlässt und unter einem verschiedenen Winkel cht: der reflektirende und der brechende Körper muss hierbei immer chron mitschwingen. Wenn aber jeder Körper die Fähigkeit in jeden Vibrationszustand zu gerathen; so muss es relativ leicht , denselben in alle möglichen Vibrationszustände zu gleicher it zu versetzen, d. h. die allgemeinen Prozesse, welche mit Licht-

entwicklung verbunden sind, werden im Ganzen eher alle je Schwingungszustände, als *einen bestimmten einfachen* hervorrufe

Damit nur ein *bestimmter* Schwingungszustand, eine *bestimm Farbe* zum Vorschein komme, müssen *spezielle* Bedingungen erfü werden, welche in der speziellen Beschaffenheit des Leuchtprozesses, der speziellen Konstitution des leuchtenden Körpers liegen.

Um zu diesen Erscheinungen einige Beispiele aus bekannteren Gebi ten beizubringen; so vergegenwärtige man sich einen Faden, welcher einem festen Punkte aufgehängt ist und an seinem untersten Punkte ein horizontalen Stab trägt. Wenn dieses bewegliche mechanische Syste *auf irgend eine beliebige* Weise erschüttert wird; so werden si im Allgemeinen *alle* Bewegungen, deren es fähig, einstellen: der Fad wird mit dem Stabe penduliren, der Stab wird vermöge der Torsion si in horizontaler Ebene drehen, ausserdem wird derselbe in vertikal Ebene oszilliren, daneben wird der Stab in Folge der Elastizität des F dens sich heben und senken u. s. w.

Als zweites Beispiel denke man an ein mit Saiten bezogenes Klavi Wird der Rahmen oder Boden, auf welchen die Saiten gespannt sind, a irgend eine Weise erschüttert; so werden im Allgemeinen *alle* Sait tönen.

Noch besser, als diese beiden Beispiele, bei welchen die *Elementa bewegungen* der einzelnen Theile an spezielle Bedingungen geknüp und der äussere Impuls nur die *Anregung*, nicht zugleich die *Bestim mung* giebt, eignet sich das folgende Beispiel zu einer Vergleichung.

Man denke sich in einer elastischen oder in einer schweren Flüssi keit einen leeren Raum von beliebiger Form und gebe jetzt der Flüssi keit die Freiheit, diesen Raum durch ihre natürliche Elastizitäts- res Schwerkraft auszufüllen. Es leuchtet ein, dass in Folge des sehr unreg mässigen Zusammentreffens der einzelnen Moleküle der Flüssigkeit, sow auch durch die hierbei in sehr verschiedener Stärke und Richtung errei ten Elastizitätskräfte ein Chaos von *verschiedenen Schwingunge* oder *Tönen* entstehen und einen Schall erzeugen wird, welcher aus *vi len Tönen* zusammengesetzt ist und den Namen *Geräusch* oder *Kna* oder *Schall schlechthin* trägt.

Das *akustische Geräusch* steht ganz an der Stelle des *opti schen weissen Lichtes.* Wie fast alle Körper, welche in allgemein Weise erschüttert werden und bei welchen eine ganz *spezielle* For nicht einen stark eingreifenden Einfluss übt, mit einem unbestimmt Komplexe von Tönen *erschallen* und diese Schallerscheinungen, w z. B. der Knall eines Gewehres oder einer Peitsche, der Fall eines Steine der Stoss eines unelastischen Körpers, das Rasseln eines Wagens, d Brausen des Windes, das Rauschen des Wassers, das Prasseln des Feue das Rollen des Donners und alle in der Natur häufig *vorkommende Geräusche* eben wegen dieser *Vermischung aller Töne* eine gewis Gleichartigkeit haben; ebenso *leuchten* die meisten Körper in Folge a gemeiner chemischer Prozesse mit einem dem *weissen* nahekommende Lichte.

Eine *nicht weisse* Flamme, z. B. die rothe Strontianflamme ist vergleichen einer *tönenden Glocke.* Die allgemeinen, unbestimmt

.d zu einem Gemische sich vereinigenden Schwingungen finden hier beiden Fällen auch statt (namentlich markirt sich Diess bei der Glocke Augenblicke des Aufschlagens des Hammers und kurz nacher), allein eses unbestimmte Gemisch, die weisse Flamme und das blosse Geräusch, rden jetzt überwogen durch den bestimmten Schwingungszustand, lcher der speziellen Form der Glocke (wie einer gespannten ite) nach akustischen Gesetzen eigen ist und welcher den speziellen emischen Prozess charakterisirt, welcher bei der Verbrennung s griechischen Rothfeuers vor sich geht.

Ebenso ist die spezifische Farbe jedes nicht selbst leuchtenden rpers das Analogon zu dem spezifischen Tone, welcher jedem Kör- r nach seiner Form und Beschaffenheit eigen ist und welcher fast mer hörbar wird, wie unregelmässig auch der Körper erschüttert wurde, nn nur die Impulse einer solchen Erschütterung nicht fortdauern, ndern der gesetzlichen Wirkung der Elastizitätskräfte des Körpers freie twicklung verstatten. In diesem Falle geht das unbestimmte Geräusch her oder später in den spezifischen Ton des Körpers über. In ähnli- er Weise tritt die Farbe eines Körpers erst dann deutlich hervor, nn derselbe nicht von zu starkem Lichte bestrahlt, sondern nur so wach erleuchtet wird, dass seine spezifischen Farbenerscheinungen im nge erhalten werden, ohne durch das erleuchtende Licht gestört, rändert oder überboten zu werden.

Wie das weisse Licht, so äussert auch das Geräusch auf unser müth nur einen neutralen Eindruck, im Gegensatze zu den Farben d Tönen, welche spezifische Empfindungen hervorrufen und sich durch als selbständige, aktive Agentien erweisen.

4. Parallele zwischen Farben und Tönen. Wenn ein Quali- tsprozess z. B. Chemismus die Ursache der Farbenempfindung , so erklärt sich daraus nicht allein, wie schon vorhin hervorgehoben die eigenthümliche Verschiedenartigkeit der einzelnen Farben Gegensatze zu den akustischen Tönen, welche auf der mechani- en Erschütterung des Ponderabelen beruhen, also in hohem de den Charakter der Gleichartigkeit an sich tragen müssen: es lärt sich daraus auch folgende, bereits im vorhergehenden Paragraphen gedeutete Verschiedenheit im Vergleich zu den Tönen.

Da der Ton auf mechanischen oder Bewegungszuständen beruht; so st die Akustik eine mathematische Behandlung auf Grund der wingungszahlen zu, welche den Tönen entsprechen. Da aber jeder hematische Grössenbegriff sich auf die Einheit bezieht, bei Grössen Wirklichkeit jedoch niemals eine feste Einheit gegeben ist, welche erem reinen Einheitsbegriffe entspräche, vielmehr jede konkrete Grösse Einheit für das gesammte System angenommen werden kann; so ver- gen die Töne nicht sich durch ihr absolutes Wesen zu charakteri- n, sondern gewinnen nur eine Bedeutung durch ihr Verhältniss zu- ander. Mit anderen Worten, in der Musik giebt es keinen absoluten undton; man kann jeden beliebigen dazu nehmen; man kann nach lkür aus dem *a* das *h* oder *g* machen; nachdem ein willkürlicher Grund- angenommen ist, gruppiren sich alle Töne vermöge des Verhältnisses,

in welchem ihre Schwingungszahlen zu denen des Grundtones stehen; wie diese Verhältnisse sich wiederholen, wiederholen sich die Tonfiguren; es baut sich Oktave über Oktave zu einer nach beiden Seiten unbegrenzten Tonleiter von ähnlichen Tonfiguren auf.

Alles Dieses kann bei den Farben, da sie sich auf die Qualität, Verschiedenartigkeit oder Heterogenität des Stoffes stützen, nicht vorkommen. Jede Farbe hat einen absoluten Werth; ihre Schwingungszahl kann nicht geändert werden, ohne die Farbe selbst zu verwandeln; das Roth ist immer Roth, welche Farben auch neben ihm existiren; das musikalische *a* ist jedoch nur dann *a*, wenn die übrigen Töne der Tonleiter im richtigen Verhältnisse zu jenem Tone gehört werden.

5. Grund- und Mischfarben. Nachdem wir im Vorstehenden den neutralen Charakter des aus allen Farben zusammengesetzten weissen Lichtes gegenüber dem aktiven Charakter der einzelnen Farben besprochen haben, stellen wir zunächst die Behauptung auf, dass es in Beziehung auf physiologische Wirkung oder nach der chemischen Wirkung auf den Sehnerven und demzufolge nach der Wirkung auf unsern Geist nur drei Grundfarben giebt: Roth, Gelb und Blau.

Ausser diesen drei Grundfarben giebt es nur noch drei andere Farben, welche Mischfarben aus je zwei Grundfarben sind: Orange als Mischung von Roth und Gelb, Grün als Mischung von Gelb und Blau, Violet als Mischung von Blau und Roth.

Die physikalische Einfachheit gewisser Nuancen von Orange, Grün und Violet bestreite ich hiermit durchaus nicht: meine Meinung geht vielmehr nur dahin, dass die Verschiedenheit, welche zwei Grundfarben voneinander unterscheidet, eine Verschiedenheit, welche in physikalischer Hinsicht lediglich eine graduelle, also überhaupt keine wesentliche ist (wesshalb in physikalischer Hinsicht Farben überhaupt nicht bedeutungsvoll sind), im organischen Prozesse eine andere ist, als die Verschiedenheit, welche eine Mischfarbe von einer Grundfarbe unterscheidet, indem bei den Qualitätsprozessen, welche Grundfarben in der Nervensubstanz erzeugen, andere Grundstoffe oder doch andere Fundamentalverbindungen, welche wir Radikale nennen wollen, in Thätigkeit treten, während bei den Prozessen der Mischfarben die Grundstoffe oder Radikale, welche den beiden Farbenkomponenten angehören, eine gemeinschaftliche Rolle spielen, was zur Folge hat, dass der geistige Eindruck einer Mischfarbe eine gewisse Verwandtschaft mit den betreffenden beiden Grundfarben zeigt, wogegen zwei Grundfarben keine derartige Verwandtschaft zeigen.

Dass sich die vorstehende Ansicht von der Brewsterschen Hypothese über die Farben wesentlich unterscheidet, bedarf kaum der Erwähnung, indem Brewster, gewiss mit Unrecht, sein System der Grund- und Mischfarben auf die objektive Verschiedenheit der Lichtstrahlen basirte, wogegen nach unserer Ansicht eine solche Verschiedenheit objektiv gar nicht, sondern nur in der Wirkung auf unsere Nervensubstanz, also nur subjektiv vorhanden ist. Für anders organisirte Wesen besteht der spezifische Unterschied der Farben vielleicht überall nicht und es giebt sogar Menschen mit abnormem Gesichtsorgane, bei welchen sich

Farbenunterschied anders gestaltet, während doch objektiv die Far-nstrahlen stets dieselben bleiben.

6. Zusammensetzung der Farben durch Pigmente. Weiss ist r Eindruck, welcher aus der Neutralisation der spezifischen Far-nwirkungen der drei Grundfarben entspringt. Hierunter ist ht Neutralisation oder Aufhebung der Intensitätswirkungen ver-nden. Durch die Vereinigung der Prozesse der drei Grundfarben kann r wohl die Intensität der Lichtwirkung des Gesammtprozesses stär-r sein, als der Prozess jeder einzelnen Farbe, weil ja in der That die sse der in chemische Thätigkeit versetzten Stoffe sich im Allgemeinen grössert (sich aus den Massen der Einzelprozesse so weit summirt, als im gemeinschaftlichen Prozesse einander entgegentretenden Kräfte ht wirkliche Neutralisationen veranlassen). Was aber die spezifische irkung jeder einzelnen Farbe betrifft, welche in der Beschaffenheit in ihr auftretenden Radikals beruht; so geht diese Eigenthümlich-t in dem Prozesse, welchen die drei Grundfarben (in angemessenen schungsverhältnissen) bei ihrer Zusammenwirkung erzeugen, voll-ändig zu Grunde, indem sich eine neue Stoffverbindung herstellt, lche keine wesentliche Eigenschaft der Farben mehr besitzt. Die che wird verständlicher, wenn man, um eine Analogie zu bilden, die ysiologische Wirkung einer Grundfarbe mit der chemischen Eigenschaft er Säure oder einer Base, die des weissen Lichtes dagegen mit der genschaft eines Salzes vergleicht.

Wir haben soeben den Satz aufgestellt, dass die drei Grund-rben Roth, Gelb, Blau in angemessenem Mischungsver-lltnisse Weiss ergeben. Hieraus und aus unserer Definition der schfarben folgt unmittelbar, dass auch die drei Mischfarben ange, Grün, Violet in angemessenen Nuancen und Mischungsver-ltnissen eine weisse Farbe liefern.

Von diesen beiden Thatsachen kann man sich mit Hülfe gewöhnli-r Tusch- oder Malerfarben überzeugen. Diesem Versuche ist jedoch Bemerkung voranzuschicken, dass Schwarz den absoluten Mangel Licht und Grau weisses Licht von geringer Intensität dar-llt.

Die Wirkung, welche ein zusammengesetztes Pigment vermöge nebeneinander liegenden Bestandtheile auf den Sehnerven äussert, nn sich zwar möglicherweise etwas von der Wirkung unterscheiden, lche aus der Verschmelzung zweier Farbenprozesse hervorgeht: ein diese Verschiedenheit betrifft nur unwesentliche Abweichungen, lche wir weiter unten näher betrachten werden. In aller Strenge gelten nachstehenden Sätze daher nur für die Mischung von Pigmenten er Farbstoffen.

Im Allgemeinen kann man also aus der Mischung gewöhnlicher gmente, und wenn sie auch die betreffenden Farben möglichst rein rstellen, keine Farbe von der Weisse des Schnees, sondern nur eine aue Farbe erwarten. Die vorstehende Thatsache ist aber vollständig wiesen, wenn die Mischung eines rothen, gelben und blauen Pigmentes rklich eine graue, ja sogar, wenn sie eine relativ schwarze Farbe er-

zeugt, da hiermit so gut wie mit der Entstehung der rein weissen Farbe die Hauptsache erwiesen ist, dass die drei Grundfarben einander so neutralisiren, dass das Gemisch farblos ist.

Dass Pigmente im Allgemeinen keine rein weisse, sondern nur eine graue Farbe und auch diese nicht ganz rein liefern können, beruht auf mehreren Ursachen. Einmal sind sie selbst nicht rein, sondern meistens ein Gemisch mehrerer Grundfarben, sodass es schwer ist, durch Mischung der Pigmente ein bestimmtes Mischungsverhältniss der Grundfarben zu erzeugen. Ausserdem stellt jedes Pigment, und wenn es eine ganz reine Farbe zeigte, doch nur eine Tonstufe derselben dar. Zum rein weissen Lichte werden aber von jeder Grundfarbe vielleicht mehrere Tonstufen nothwendig gehören und dieser Mangel kann eine Ursache sein, dass das Gemisch an Intensität verliert, also grau wird.

Vor allen Dingen aber ist zu erwägen, dass die Pigmente nur ver- vermöge des diffundirten Lichtes sichtbar sind oder leuchten. Dieses diffundirte Licht, welches die Körpertheile aussendet, ist das Resultat der Lichtschwingungen, in welche diese Theile durch das auffallende und in dieselben eindringende Sonnenlicht versetzt werden. Ein rothes Pigmenttheilchen sendet aber von allen eindringenden Strahlen nur die rothen zurück und absorbirt die übrigen, d. h. die natürliche Vibrationsgeschwindigkeit der durch das Ponderabele beeinflussten oder gebundenen Äthertheilchen eines rothen Körpers entspricht nur den Schwingungen der rothen Farbe, nicht denen einer anderen, sodass die Impulse jeder anderen Farbe ohne Erzeugung eines Lichtprozesses in diesem Körper zerschellen. Zwei benachbarte solche Theilchen, von welchen das eine Strahlen auf in oder durch das andere sendet, stören sich also nicht, weil der von dem einen kommende rothe Strahl auch von dem anderen (mehr oder weniger) durchgelassen oder fortgepflanzt wird. Wohl aber wirkt ein rothes Theilchen störend mit einem gelben oder blauen zusammen; denn der rothe Strahl des ersteren, welcher auf das zweite trifft, durchdringt dasselbe nicht oder nur schwach und verändert. Es findet also schon bei der Mischung zweier Grundfarben ein Intensitätsverlust statt. Derselbe macht sich bei der Mischung gewöhnlicher Tuschfarben sehr wohl bemerkbar. Das aus Gelb und Blau gemischte Grün, sowie das aus Roth und Gelb gemischte Orange und das aus Roth und Blau gemischte Violet ist erheblich dunkler als seine einfachen Bestandtheile, obgleich doch seine Verdünnung in Wasser ganz dieselbe ist.

Noch stärker muss der Intensitätsverlust bei der Vermischung aller drei Grundfarben werden. Denn von den Strahlen eines rothen Theilchens fällt eine gewisse Menge auf ein gelbes und eine ebenso grosse Menge auf ein blaues Theilchen und wird bedeutend geschwächt oder nahezu absorbirt. Das Resultat kann also nur ein Licht von erheblich geringerer Intensität als die Grundfarben sein, und da die Verbindung den Farbeneffekt neutralisirt oder weisses Licht erzeugt; so kann das Resultat nur eine graue Farbe sein.

Dieses Ergebniss kann man in der That leicht herstellen. Durch Mischung von Karminroth, Gummigutt und Preussich Blau oder auch von Zinnober, welcher eine Verbindung von Roth und Gelb ist, mit Blau stellt man leicht eine einfach graue Farbe dar.

Ebenso wie eine Mischung der drei Grundfarben Roth, Gelb, Blau ...ses, resp. graues Licht erzeugt, ebenso geschieht Diess selbstverständ... durch eine passende Mischung der drei Mischfarben Orange, Grün, ...let: denn diese Mischung enthält die Verbindung der drei Grundfar... nur zweimal.

7. Zwei Grundfarben erzeugen niemals weisses Licht. Ich ...upte aber nicht bloss, dass die drei Grundfarben in rechtem Mi...ngsverhältnisse stets weisses Licht geben, sondern auch, dass weisses ...t nur durch die drei Grundfarben, nicht etwa durch deren zwei ...orgebracht werden kann.

Reines Roth und Gelb giebt niemals Weiss oder Grau, sondern ... eine Mischung von entschiedener Färbung. Die gesättigte ...hung, in welcher beide Farben am besten miteinander verschmelzen, ...Orange. Zwischen dem reinen Roth und Orange liegen nur Nuan..., welche den Mischungsverhältnissen entsprechen; es sind die ver...edenen Nuancen von Gelbroth oder vielmehr Orangeroth. Zwi...n Orange und Gelb, den Mischungsverhältnissen entsprechend, liegen Nuancen von Rothgelb oder vielmehr Orangegelb. Will man ... feiner unterscheiden; so hat man zwischen Roth und Orange erst ...geroth nnd dann Rothorange, ferner zwischen Orange und Gelb erst ...orange und dann Orangegelb, überhaupt sind also die Übergänge von ... zu Gelb: Roth, Orangeroth (Zinnober), Rothorange, Orange, Gelb...ge, Orangegelb (Chromgelb), Gelb.

Reines Gelb und Blau giebt ebenfalls niemals Weiss oder Grau, ...ern stets eine entschiedene Farbe. Die gesättigte Mischung ist ...n. Zwischen Gelb und diesem Grün liegen die Nuancen von Grün..., zwischen diesem Grün und Blau die Nuancen von Grünblau, ...ch den Mischungsverhältnissen. Bei feinerer Unterscheidung folgen ...bstufungen zwischen Gelb und Blau folgendermaassen: Gelb, Grün... (Gummigutt), Gelbgrün, Grün, Blaugrün, Grünblau, Blau.

Reines Blau und Roth erzeugt niemals Weiss oder Grau, sondern ...r eine bestimmte Farbe. Die gesättigte Mischung ist Violet. ...len Mischungsgraden entsprechenden Abstufungen zwischen Blau und ... sind Blau, Violetblau (Rothblau), Blauviolet, Violet, Rothviolet, Vio...h (Blauroth, Karmin, Fleischroth), Roth.

8. Sonstige Farbenverbindungen durch Pigmente. Zwei ...e Grundfarben erzeugen also niemals weisses Licht, ... zwei gesättigte Mischfarben können Diess nicht thun, wohl ... wird weisses Licht durch zwei entsprechende Nuancen und auch ... eine Grundfarbe und eine Mischfarbe erzeugt. Zwei Far... welche weisses Licht geben, sind komplementär.

Komplementär einer einfachen Farbe ist daher immer eine Misch...e: dem Roth ist Grün, dem Gelb ist Violet, dem Blau ist Orange ...lementär.

Während weisses Licht stets durch die drei Grundfarben zu...men hervorgebracht wird; so wird eine Mischfarbe stets durch ...i Grundfarben erzeugt. Diese zwei Grundfarben können aber auch

durch geeignete Nuancen zweier Mischfarben verbunden werden, wen diese Nuancen von der Art sind, dass die dritte darin vorkommend Grundfarbe, nachdem sie sich mit entsprechenden Theilen der andere beiden Grundfarben zu Weiss, resp. Grau verbunden hat, die andere beiden Grundfarben in dem richtigen Mischungsverhältnisse zulässt. Ein Mischfarbe kann also entweder durch *zwei Grundfarben* oder auc durch *die anderen beiden Mischfarben* hervorgebracht werde So kann Grün durch Gelb und Blau, aber auch durch gewisse Nuanc von *Orange* und *Violet*, insbesondere von Orangegelb und Violetbla erzeugt werden. Ebenso kann Orange durch Roth und Gelb, aber auc durch *Grün* und *Violet*, insbesondere durch Grüngelb und Violetrot entstehen. Endlich kann Violet durch Roth und Blau, aber auch durc *Orange* und Grün, insbesondere durch Orangeroth und Grünblau he vorgebracht werden. Allerdings liefert die Verbindung der beiden Miscl farben die gesuchte Farbe nicht rein, sondern mit *Weiss gemischt*.

Ebenso und unter dem nämlichen Vorbehalte der Vermischung mi *Weiss* leuchtet ein, dass eine reine Grundfarbe aus der Mischun zweier Mischfarben oder einer Grundfarbe mit einer Mischfarbe hervo gehen kann, insofern die Verhältnisse so sind, dass sich die in der Mi schung vorkommenden anderen beiden Grundfarben mit einem Theile de gewünschten zu weissem Lichte verbinden.

Die Thatsache, dass drei Pigmente, welche die Farben der dr Grundfarben besitzen, bei ihrer Vermischung ein graues Pigment liefer kann dazu benutzt werden, die Reinheit solcher Pigmente zu prüfen un die Verwendung bekannter Mischpigmente in der Malerei zu regeln.

So liefert z. B. die Vermischung von Zinnober (Gelbroth) mit Karmi (Blauroth) eine *schmutzige* Farbe, weil in der Verbindung die dr Grundfarben vorkommen, welche sich zu Grau verbinden. Ebenso liefer Roth und Grün stets eine schmutzige Mischung. Dieselbe Unreinheit di ser Mischungen wird auch hervorgebracht, wenn man die betreffend Grundfarbe mit *Schwarz* mischt.

9. Komplementärfarben in Pigmenten. Da für manche Zweck die genauere Kenntniss der Nuance der *Komplementärfarbe* wün schenswerth ist; so theile ich hierüber folgende kurze Zusammenstellun mit, welche sich sofort aus vorstehender Betrachtung ergiebt. Diese Zu sammenstellung, welche sich mit Strenge nur auf *Pigmente*, nicht au die *Nervenprozesse* bezieht, ist in der Kreisform gegeben. In de Farbe steht ihr Komplement, d. h. derjenige Farbstoff, welcher mit jene Farbstoffe gemischt, einen weissen, resp. grauen Farbstoff liefert, *dia metral* gegenüber. *In der Reihe, wie die gegebene Farb wechselt, wechselt auch das Komplement.*

In Beziehung auf *komplementäre* Farben bemerke ich noch Fo gendes. Wie schon erwähnt, ist das Komplement einer *einfachen* Farb eine *Mischfarbe*, welche jene erstere Farbe *nicht* enthält. Im Allg meinen aber können in komplementären Farben sehr wohl gewisse *ein fache Farben gemeinschaftlich* vorkommen. Ja sogar jed *zwei Intensitätsgrade von Weiss*, also die verschiedenen Tön des reinen *Grau* sind komplementär, oder im Allgemeinen ruft, wie w

n bei den Kontrasterscheinungen gesehen haben, die Zusammenstel- von Hell und Dunkel die Wirkung komplementärer Farben her-

Fig. 478.



Wenn man also zwei komplementäre Farben mehr oder weniger mit sem Lichte mischt; so bleiben die daraus hervorgehenden Farben im- komplementär (jedoch nicht normal komplementär nach §. 20 4).

Aus dem Vorstehenden ziehen wir in Beziehung auf das Grundwesen Farben folgende Schlüsse.

10. Weitere Betrachtungen über die Natur der Farben. ser den drei Grundfarben Roth, Gelb, Blau und den i Mischfarben Orange, Grün, Violet giebt es keine Far- . Alle anderen Lichteindrücke sind nur Töne, Abstu- gen oder Nuancen dieser Farben. Das Spektrum hat t sieben, sondern nur sechs spezifisch verschiedene ben: das Hellblau und das Dunkelblau darin sind nur stufen oder Nuancen derselben Farbe.

Den sechs Hauptfarben, welche aus den drei einfachen und den drei hfarben bestehen, entsprechen sechs Wortkompositionen, denen e objektive Bedeutung zukömmt. Es giebt

kein	grünes Roth	oder	rothes Grün
„	grünes Orange	„	orangenes Grün
„	grünes Violet	„	violettes Grün
„	blaues Orange	„	orangenes Blau
„	orangenes Violet	„	violettes Orange
„	gelbes Violet	„	violettes Gelb

Weiss ist eigentlich keine Farbe, sondern der Licht- druck, in welchem alle Farbenwirkung neutralisirt ist. weisse Körper ist farblos, aber nicht lichtlos, sondern

weisses Licht spendend. Man muss nämlich sorgfältig die allgemeine Lichtwirkung und Lichtintensität von der speziellen Farbenwirkung und Farbenintensität unterscheiden. Farbe ist eine einseitig sich ausprägende besondere Eigenschaft der Lichtwirkung. Die Kombinaton zweier Farben hebt die Einseitigkeit noch nicht auf. Nur die Zusammenwirkung dreier Farben kann einen Zustand allseitiger Gleichheit oder neutralisirter Einseitigkeit herstellen. Hierbei, bei dieser gänzlichen Aufhebung der Farbe kann die generelle Lichtthätigkeit, die Lichtstärke oder Leuchtkraft sich sehr wohl vermehren: auch umgekehrt kann die Farbenintensität wachsen, während die allgemeine Lichtintensität abnimmt.

Ein Maler würde mit den drei reinen Grundfarbenpigmenten und mit einem rein weissen und einem rein schwarzen Pigment völlig auskommen, um alle möglichen Farben darzustellen. Er kann hierbei das Weiss und das Schwarz nicht entbehren. Ein Zusatz von Weiss erhöht die allgemeine Leuchtkraft, die Lichtstärke und schwächt zugleich die Farbenintensität, erzeugt eine blasse, aber leuchtende oder helle Farbe. Ein Zusatz von Schwarz vermindert die allgemeine Leuchtkraft und schwächt zugleich die Farbenintensität, erzeugt eine farbenschwache und dunkle Farbe. Ein Zusatz der Farbe selbst erhöht die Farbenintensität, ohne die Lichtstärke zu ändern. So wird Roth durch Beimischung von Weiss ein helles oder leuchtendes Blassroth, durch Beimischung von Schwarz ein dunkles oder lichtschwaches Mattroth (Braun), durch Beimischung von reinem Roth dagegen ein feurigeres oder tieferes Roth.

Schwarz ist nicht der Mangel jeder Farbe, sondern der Mangel alles Lichtes.

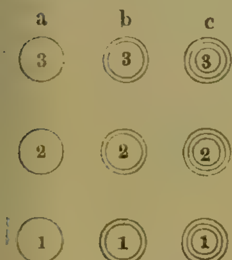
Ein vollkommen durchsichtiger Körper (welcher jeden Farbenstrahl ungeschwächt durchlässt, wie es nahezu Luft, Wasser, reines Glas thut) ist nicht weiss oder farblos, sondern lichtlos, d. h. jedes eigenen oder diffundirten Lichtes entbehrend zu nennen. Vom schwarzen Körper unterscheidet sich der durchsichtige dadurch, dass der schwarze weder Licht diffundirt, noch durchlässt, der durchsichtige dagegen zwar kein Licht diffundirt, wohl aber fremdes Licht durchlässt. Der schwarze Körper ist unsichtbar, verdeckt aber die dahinter liegenden Körper, ist also dunkel: der sichtbare Körper ist ebenfalls unsichtbar, verdeckt aber die dahinter liegenden Körper nicht, sondern lässt dieselben durch seine eigene Masse sehen, erscheint also wie ein von fremden Strahlen durchdrungener leerer Raum. Sowie die fremden Strahlen fehlen oder sowie durch den durchsichtigen Körper keine anderen sichtbar sind, wenn also der Hintergrund schwarz ist, erscheint der durchsichtige Körper selbst schwarz, wie z. B. eine Glasscheibe über einer schwarzen Bildfläche.

Hinsichtlich der Benennung der Übergangsfarben, welche zwischen den Grundfarben und den gesättigten Mischfarben liegen, wäre es gut, hierbei ein bestimmtes Prinzip zu beobachten. Wir werden uns der schon in No. 7 gebrauchten Namen bedienen, also eine Farbe nach ihrer Hauptfärbung benennen, welche entweder eine Grundfarbe oder eine gesättigte Mischfarbe ist und dem Namen dieser Hauptfärbung diejenige zu-

nächst liegende Grund- oder Mischfarbe vorsetzen, nach welcher die gegebene Farbe hinüberzieht. Wir werden also nicht Rothgelb, sondern Orangegelb, nicht Gelbroth, sondern Orangeroth sagen und von diesen beiden Farben Gelborange und Rothorange unterscheiden (vergl. No. 14).

11. Spezieller chemischer Typus des Nervenstromes. Den Vorgang im Sehnerven, auf welchem der physiologische Eindruck des Lichtes beruht, stelle ich mir folgendermaassen vor. In Fig. 479 seien $a_1, b_1, c_1 — a_2, b_2, c_2 — a_3, b_3, c_3$ die aufeinander folgenden oder in der Richtung des Stromes aneinandergereihten Moleküle eines Nervenfadens, welchen wir uns vorläufig wie einen stetigen und homogenen Körper denken. Die Homogenität des Nervenmarkes entspricht auch den dessfalsigen mikroskopischen Beobachtungen (Valentin, Physiologie des Menschen, §. 1693), und zeigten sich bei stärkeren Vergrösserungen dennoch zellenartige Körperchen in dieser Substanz; so würden dieselben der Entwicklung des nachstehenden Prozesses ebenso wenig im Wege stehen, wie die Blutkügelchen die Fortpflanzung eines chemischen Prozesses im Blute verhindern würden.

Fig. 479.



Jedes Molekül betrachte ich als eine ternäre chemische Verbindung im Sinne der Metalepsie aus den drei Radikalen a, b und c. Ob jedem Radikale ein besonderes chemisches Element oder nur eine besondere chemische Fundamentalverbindung zu Grunde liegt, ist irrelevant.

Wie die Massentheilchen der ponderabelen Körper vermöge der Elastizität unter der Wirkung mechanischer Kräfte dergestalt in Oszillationen gerathen, dass das eine Theilchen das benachbarte aus seinem mechanischen Zusammenhange mit der umgebenden Masse zu treiben sucht und alsdann seinerseits von jenem Theilchen wieder zurückgetrieben wird, wie ferner die Theilchen des Äthers unter der Wirkung von Lichtaffektionen in ähnliche Vibrationen versetzt werden, ebenso werden die Radikale der Nervensubstanz unter der Wirkung ihrer chemischen Neigungen, sobald diese Neigungen durch irgend ein Agens beeinflusst werden, veranlasst, alternirend die Verbindung mit den korrespondirenden Radikalen des in der Reihe zunächst nach vorn liegenden und alsdann mit den korrespondirenden Radikalen des zunächst zurückliegenden Theilchens zu suchen: es entsteht eine chemische Oszillation, indem die veränderte Stoffverbindung mit einer Veränderung der chemischen Qualität des betreffenden Moleküls begleitet ist.

Diese chemische Thätigkeit wird im Sehnerven geweckt durch die Lichtvibrationen des Äthers, welche zunächst die Netzhaut treffen und, indem sie die verschiedenen Stäbchen-, Körner-, Kugel- und Faserschichten dieser Haut durchdrungen haben, die Fiber des Sehnerven in die eben genannten chemischen Vibrationen versetzen.

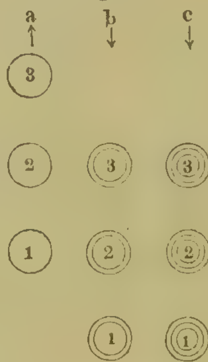
Wenn die Erschütterung weniger als 480 Billionen Schwingungen in der Sekunde beträgt, erlangen die bezeichneten Radikale der Nervenmoleküle noch keine merkbare chemische Thätigkeit. Wenn diese Ge-

schwindigkeit erreicht wird, tritt vermöge der Übereinstimmung der stofflichen Neigungen mit der mechanischen Bewegung das Radikal *a* in Thätigkeit und zwar in der Weise, dass dasselbe aus seiner Verbindung mit den beiden anderen Radikalen *b* und *c* losgerissen wird und sich nach vorn bewegt. In Folge dessen verbindet sich das Radikal a_2 des zweiten Moleküls mit den beiden unter sich verbunden bleibenden und gemeinschaftlich nach rückwärts sich bewegenden Radikalen b_1 und c_1 des ersten Moleküls, es bewegt sich also momentan a_2 ebenfalls nach vorn und es stellen sich die in Fig. 480 dargestellten Bewegungen und Austausche ein. Wir nehmen übrigens an, dass diese Verbindungen nicht vollständig zu Stande kommen, sondern dass nur eine gegenseitige Annäherung entsteht.

Fig. 480.



Fig. 481.



Nachdem diese Annäherung ihr Maximum erreicht hat, tritt der Rückgang von *a* ein, welcher die in Fig. 481 dargestellten Bewegungen und Verbindungen erzeugt.

Dieser oszillatorische metaleptische Austausch des Radikals *a* zwischen den benachbarten Molekülen, welchen wir kurz die Thätigkeit des Radikals *a* nennen wollen, erzeugt beim Eintritte des Stromes in das Gehirn den Eindruck der rothen Farbe.

Das eigentliche Wesen des physiologischen Prozesses der rothen Farbe besteht also in der Losreissung oder Abstossung des Radikals *a* von den anderen beiden Radikalen *b*, *c* mit der daraus sofort erwachsenden Tendenz der Heranziehung des Radikals *a* des angrenzenden Moleküls: diese Losreissung von *a* ist die erste Periode der oszillatorischen Thätigkeit; die zweite ist die Wiedervereinigung.

Wie jedem oszillatorischen Kräftesysteme bei kleiner Amplitude eine bestimmte Vibrationsgeschwindigkeit zukömmt, bei welcher es sich in seiner natürlichen oder zwanglosesten Bewegung befindet; so entspricht die chemische Thätigkeit des rothen Radikals *a* der Vibrationsgeschwindigkeit von etwa 480 Billionen Schwingungen per Sekunde; der Lichtstrahl also, welcher diese Anzahl von Erschütterungen in der Sekunde hervorbringt, ruft jene chemische Thätigkeit möglichst rein hervor. Einer Bewegung des Radikals *a* entspricht

ımmer eine isochrone Bewegung der verbunden bleibenden Radikale › und *c* in entgegengesetzter Richtung.

Wenn die Vibrationsgeschwindigkeit auf 560 Billionen steigt, entpricht nicht mehr das Radikal *a*, sondern das Radikal *b* vermöge seines ıatürlichen Spannungs-, Vibrations- oder Affinitätszustandes dem Isochroıismus der Erschütterungen. Es tritt also das Radikal *b* in ähnlicher Weise, wie vorhin das Radikal *a* in chemische Thätigkeit, d. h. es wird von den anderen beiden Radikalen alternirend abgestossen und wieder angezogen und erzeugt dadurch den Eindruck der gelben Farbe. Fig. 482 tellt die erste Periode jeder Oszillation dar.

Fig. 482.

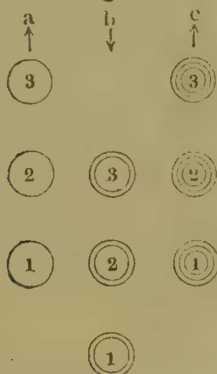


Fig. 483.



Bei einer Vibrationsgeschwindigkeit von etwa 650 Billionen überiimmt das Radikal *c* die vorstehende Rolle und ruft die Empfindung des Blau hervor, wovon Fig. 483 die erste Periode jeder Oszillation darstellt.

An einem bestimmten Prozesse dieser Art, bei welchem also der hemismus oder die abwechselnde stoffliche Gruppirung gegeben ist, leiben noch zwei Dinge veränderlich, die Amplitude oder Intensität er Schwingungen, d. h. der Grad der Annäherung, welcher bei der ıemischen Vereinigung und Trennung stattfindet und die Anzahl der ıätigen Elementartheilchen in der organischen Masseneinheit. Die mplitude entspricht der eigentlichen Intensität, die letztere Anzahl der uantität des Lichtes. Wie wir in §. 20 No. 5 beim physikalischen rozesse Intensität und Quantität für die meisten Fälle als nahezu gleichedeutend erkannt haben, so ist es augenscheinlich auch hier beim phyologischen Prozesse der Fall. In solchen Fällen aber, wo die Unterheidung wichtig wird, haben wir hier die vollkommenste Analogie zu en Betrachtungen des §. 20. Insbesondere entspricht, was unter Umänden von grosser Bedeutung ist, das Zurruhesetzen einer gewissen nzahl von vibrirenden Elementartheilchen der Beimischung eines schwaren Pigmentes zu den Farbstoffen.

Durch vorstehende Auffassung erläutert sich zunächst, dass es nur benso viel Grundfarben, als Radikale, also nur deren drei, Roth, elb und Blau geben kann.

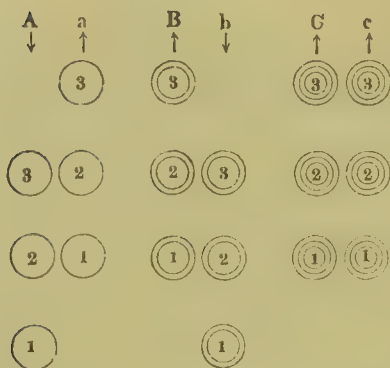
Alsdann ist klar, dass der Wechsel zwischen der Thätigkeit des Rakals *a* und der des Radikals *b*, weil derselbe auf einer Veränderung der ibrationsgeschwindigkeit beruht, Übergangsstufen zeigen muss, in wel-

chen beide Radikale sich thätig erweisen. Entsprechen die Erschütterungen weder der natürlichen Vibrationsgeschwindigkeit des Radikals a, noch der des Radikals b; so ist die Erregung insofern eine unvollkommene, als sie dem natürlichen Bestreben keines der beiden Radikale genug thun kann. Es wird sich daher ein jedes mit der ihm eigenen Geschwindigkeit in Bewegung setzen und Diess bedingt, dass die schwingende Masse des Moleküls sich in zwei Theile theilt, von welchen der eine Theil dem rothen und der andere dem gelben Prozesse folgt.

Liegt die Vibrationsgeschwindigkeit ungefähr in der Mittte zwischen der für a und der für b günstigsten; so werden beide Radikale in nahezu gleiche Thätigkeit gesetzt: es zeigt sich die orangene Farbe als das Resultat des gemeinschaftlichen Auftretens zweier Grundthätigkeiten oder als Mischfarbe.

Bei der allmählichen Zunahme der Vibrationsgeschwindigkeit stellt aber das Radikal a nur allmählich seine Thätigkeit ein, d. h. es verringert sich allmählich die Quantität des schwingenden rothen Radikals, während allmählich die Quantität des schwingenden gelben Radikals zunimmt. Zwischen dem reinen Roth und dem reinen Gelb giebt es daher unendlich viel Übergänge, welche sämmtlich den Charakter von Mischfarben an sich tragen. In Fig. 484 ist der Zustand der ersten Periode jeder Schwingung für den Fall dargestellt, dass durch das rothe Licht die Quantitäten oder die Intensitäten A, B, C, durch das gelbe Licht dagegen die Intensitäten a, b, c erzeugt werden.

Fig. 484.



Von allen zwischen Roth und Gelb liegenden Mischfarben zeichnet sich das reine Orange durch die besondere Eigenschaft aus, dass die Quantität des vom thätigen gelben Radikale b gebundenen Antheils des rothen Radikals a gleich der Quantität des thätigen rothen Radikals A, dass also $A = a$ und ebenso $B = b$ ist. Beachtet man nun, dass die beiden Radikale A und b sich abwärts bewegen; so ist klar, dass solange $A > a$ ist oder die Intensität des Roth grösser ist, als die des Gelb, in der Mischfarbe entschieden die rothe Färbung vorherrschend oder charakteristisch sein wird. Sobald jedoch $A = a$ wird, ist die Bewegung im rothen und auch im gelben Radikale gleich, diese beiden Radikale haben also keine relative Bewegung gegeneinander, bleiben mithin in ihren gegenseitigen Beziehungen ungeändert und es leuchtet ein, dass die entstehende Farbe, das Orange, sowohl in Beziehung zu Roth, wie auch zu Gelb den Charakter der Sättigung an sich tragen muss. Sowie $A < a$ wird, herrscht das Gelb vor und die Farbe gehört zu den Nuancen des Gelb.

In ähnlicher Weise tritt beim Übergange von 560 zu 650 Billionen Schwingungen pro Sekunde der Fall ein, dass die beiden Radikale b

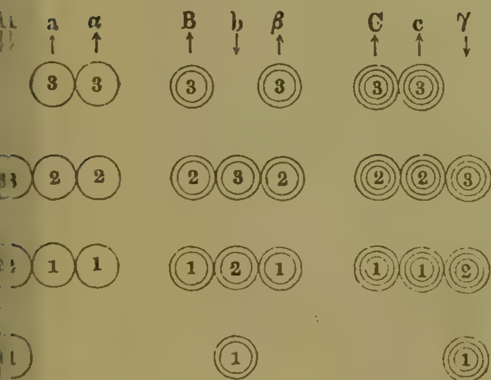
c in Thätigkeit treten. Dieser Thätigkeit entspricht die grüne be.

Bei der Erhebung der Vibrationsgeschwindigkeit über 650 Billionen s nach allgemeinen Naturgesetzen endlich wieder das Radikal a der en Farbe in Thätigkeit kommen und zwar in völliger Reinheit dann, n jene Geschwindigkeit das Doppelte oder die Oktave der früheren, . 960 Billionen beträgt. Bei dieser Geschwindigkeit ist indessen die llenlänge so klein geworden, dass in der Nervensubstanz, wie einmal ist, wahrnehmbare Lichteffekte nicht mehr erzeugt werden. Oktave des Roth kann daher im menschlichen Auge nicht zur Erinung kommen: wohl aber stellt sich schon früher die Mitthätigt des Radikals a ein: es ergeben sich Mischungen von Blau und Roth, he bei einer Vibrationsgeschwindigkeit von 730 Billionen das gesät- Violet erzeugen, wobei die beiden Radikale c und a ihre Thätig- ausüben.

Nach Vorstehendem ist nun klar geworden, dass es nur drei Grundfen, Roth, Gelb, Blau, durch die ausschliessliche Thätigkeit je eines zelnen Radikals a, b, c geben kann und ferner, dass auch nur drei ättigte Mischfarben, Orange, Grün, Violet möglich sind, welche gleiche Thätigkeit von je zwei Radikalen $a + b$, $b + c$, $c + a$ tellen.

12. Das weisse Licht. Endlich ersieht man, dass wenn alle drei kale in die durch Fig. 485 dargestellte Thätigkeit treten, wobei die ntitäten oder Intensitäten der einzelnen Radikale in den drei Molekülen (A, B, C), (a, b, c) und (α, β, γ) einander gleich sind, sodass man $A = a = \alpha$, $B = b = \beta$, $C = c = \gamma$ hat, ein Lichteindruck entstehen muss, welcher weder die Natur einer Grundfarbe, noch die einer Mischfarbe, sondern die des neutralen weissen Lichtes hat.

Fig. 485.



Wenn man das Wesen dieser Bewegung genau mustert, so findet man, dass der Prozess jeder möglichen Farbe darin vertreten ist. So entspricht die Thätigkeit A gegen B, C dem Roth, die von b gegen a, c dem Gelb, die von γ n α, β dem Blau, die von A und b gegen B, C und a, c dem Orange, on b und γ gegen a, c und α, β dem Grün, die von γ und A gegen und B, C dem Violet.

Es leuchtet ein, dass das weisse Licht durchaus nicht durch einen achen Vibrationsprozess erzeugt werden kann: denn ein sol- vermag, selbst wenn die Nervensubstanz auf Oktaven zu reagiren tande wäre, nur die im Kreise aufgestellte und durch die Zeichen a,

$a + b$, b, $b + c$, c, $c + a$ versinnlichte Reihe der prismatisch Farben, hervorzurufen. Das weisse Licht kann mithin nur durch d Prozess eines komplizirten Vibrationssystems, d. h. durch gleichzeitige Wirksamkeit, mehrerer einfacher Vibrationssyste zur Erscheinung gebracht werden und dasselbe besteht immer aus ein bestimmten Mischungsverhältnisse der drei Grundfarben.

In Beziehung auf Quantität und Amplitude der schwingen Massentheilchen haben wir noch Folgendes zu bemerken. Wenn sich Radikal a von den beiden Radikalen b und c losreisst und die Masse hinschwingt, während die doppelte Masse $b + c$ herschwingt; kann der Ausschlag oder die Amplitude der letzteren grösse Masse nicht so gross sein, als der der ersteren kleineren: a wird a weiter ausschlagen, als $b + c$.

Wenn die erregende Kraft stets gleiche Arbeit verrichtet, we also der objektive Lichtstrahl gleiche Stärke hat, wird sich auch Nervenstrome gleiche Arbeit entwickeln. Ändert sich also die Vibratio geschwindigkeit des Lichtstrahles so, dass nicht bloss das Radikal a, s dern auch das Radikal b in Thätigkeit tritt; so muss sich, wie schon v hin angenommen, entweder die Quantität oder die Amplitude schwingenden Masse des Radikals a vermindern, indem das in T tigkeit tretende Radikal b den Abgang ersetzt.

13. Prozess der Komplementärfarbe. Wenn die Thätigkeit Radikals a einer gewissen Farbe entspricht; so entspricht die gleichzeit Thätigkeit der anderen beiden Radikale b und c der Komplementä farbe. Sind die Quantitäten von a, b und c gleich; so ergiebt eine V einigung der Thätigkeit des rothen Radikals a, welche in Fig. 486 du die Bewegungen in dem Moleküle A, B, C dargestellt ist, mit der Thät keit der beiden Radikale b und c, welche in jener Figur durch die Bew gungen in den Molekülen a, b, c und α, β, γ dargestellt sind, den Proz des weissen Lichtes. Bezeichnen allgemein die Buchstaben a, b nicht bloss die betreffenden Radikale ihrer Art nach, sondern zugleich Intensitäten ihrer Thätigkeit oder die Quantitäten der davon regten Theilchen in der Masseneinheit, sodass $a + b + c$ eine Lichtw kung darstellt, bei welcher resp. a, b, c die Intensität der Thätigkeit ersten, zweiten und dritten Radikals in drei Massen von der Quanti a, b, c bezeichnet; so besteht das Licht $a + b + c$, worin alle drei R dikale thätig sind, immer aus weissem Lichte $\alpha + \beta + \gamma$ und a farbigem Lichte, welches letztere entweder eine Grundfarbe od eine Mischfarbe ist, also entweder einem einzigen oder zwei Ra kalen entspricht. Komplementär zu der Farbe $a + b + c$ ist allgem diejenige Farbe $a' + b' + c'$, deren Vereinigung mit jener ein Resul $(a + a') + (b + b') + (c + c')$ giebt, in welchem sich

$$a + a' : b + b' : c + c' = \alpha : \beta : \gamma \quad \text{verhalten.}$$

Für unser Auge spielt nun noch das normale weisse Licht od das weisse Licht von normaler Stärke eine wichtige Rolle (§. 20 No. Im wahren Sinne komplementär zu einer Farbe ist nun diejenige, wel mit jener normales weisses Licht ergiebt.

Das normale weisse Licht ist also das Licht $\alpha + \beta + \gamma$, wo

Intensitäten α, β und γ nicht bloss ein bestimmtes Verhältniss naander, sondern auch bestimmte absolute Werthe haben, d. h. dasge weisse Licht, durch welches in der Masseneinheit der Nervensubz entweder alle Moleküle mit einer bestimmten Intensität nur eine bestimmte Anzahl derselben mit einer gegebenen tleren Intensität erregt werden, ein Licht also, welches den Orsmus weder zu stark noch zu schwach reizt. Ist nun in irgend einer ne $a + b + c$ jede der drei Grössen a, b, c kleiner als die prechende von α, β, γ; so ist die normale Komplementärfarbe von $b + c$ ohne Weiteres durch $(\alpha - a) + (\beta - b) + (\gamma - c)$ darellt. Ist jedoch irgend eine der Grössen a, b, c grösser als die entchende von α, β, γ, und wäre z. B. a der intensivste Theil der Farbe $b + c$; so würde eine Farbe $b' + c'$ in ihrer Vereinigung mit $b + c$ zwar weisses Licht von der Beschaffenheit $a + (b + b')$ $c + c')$ ergeben: allein dieses Licht wäre kein normales, sondern ensiver. Um dasselbe auf die Intensität des normalen zurückzugen, kann offenbar nicht die Amplitude der Schwingungen der rrenden Elemente vermindert werden: denn hierzu hat man kein Mitda es sich ja um die Hinzufügung einer neuen Lichtthätigkeit (der plementären) handelt. Jener Effekt kann vielmehr nur dadurch erzielt den, dass von den vibrirenden Lichtlinien, in welchen die Mole $a_1 b_1 c_1$, $a_2 b_2 c_2$, $a_3 b_3 c_3$ aneinandergereiht sind, eine bestimmte Anganz ausser Thätigkeit gesetzt oder verdeckt wird, dass die Quantität des Lichtes vermindert wird, was einfach dadurch nieht, dass von der Fläche, welche die komplementäre Farbe aushlen oder deren physikalischer Ätherprozess den chemien Nervenprozess erregen soll, eine entsprechende Anzahl leucher Punkte ausgelöscht, d. h. dass die obige komplementäre Fär $b' + c'$ mit Schwarz gemischt wird, ein Resultat, zu welchem schon in §. 20 No. 6 gekommen sind.

Eine Bewegung des Radikals c bei Erzeugung des Eindruckes der en Farbe (Fig. 483) ist mit einer isochronen Bewegung der unter verbunden bleibenden beiden Radikale a und b nach entgegengesetzter tung verbunden. Die Komplementärfarbe jenes Blau oder die gene Farbe $a + b$ entsteht nun ebenfalls durch Bewegungen derselben n Radikale a und b; sie unterscheidet sich aber dadurch wesentlich, bei ihr die Radikale a und b nicht verbunden bleiben, sondern mit ihnen eigenen besonderen Vibrationsgeschwindigkeiten ingen, sodass also die schwingenden Radikale a und b nicht demsel sondern zwei verschiedenen Massentheilchen angehören. Demzufolge denn auch im letzteren Falle die in Bewegung kommende Masse des kals a nicht wie im ersten Falle im Zusammenhange bleiben, sondern wei Theilen mit verschiedener Vibrationsgeschwindigkeit schwingen.

Abgesehen nun von der Verschiedenheit der Vibrationsgeschwindigder beiden Radikale b und c im letzteren Falle; so bildet sich, wenn die mittlere Vibrationsgeschwindigkeit derselben ins Auge fasst, der Komplementärfarbe der entgegengesetzte oder neive Strom ihres Komplementes.

Hieraus wird denn auch der Charakter des Gegensatzes verständ-

lich, welcher zwischen den Komplementärfarben wie zwischen Helligkeit und Dunkelheit und wie zwischen positiven und negativen Grössen so häufig auftritt.

Die obige Auffassung ergiebt leicht das Resultat der Nerventhätigkeit für jedes aus beliebigen Ätherschwingungen zusammengesetzte Licht. Zu diesem Ende denke man sich durch jedes einfache Vibrationssystem oder durch jeden elementaren Strahl jenes Lichtes eine seiner Intensität entsprechende Quantität der in der Masseneinheit enthaltenen Nervensubstanz nach dem obigen Gesetze in chemische Thätigkeit gesetzt. Hierdurch findet sich für die betreffenden der drei Radikale a, b, c ein gewisses Maass von Thätigkeit, welches resp. $= \alpha$, β, γ sei. Verfährt man so für jeden elementaren Strahl und addirt schliesslich die Grössen α für sich, die Grössen β für sich und die Grössen γ für sich; so ergiebt sich das Gesammtresultat $\Sigma\alpha$, $\Sigma\beta$, $\Sigma\gamma$. Hierdurch ist, wie vorhin gezeigt, immer ein Licht dargestellt, welches entweder als Grundfarbe erscheint, z. B. wenn $\Sigma\beta = 0$ und $\Sigma\gamma = 0$ ist, oder welches als eine Mischfarbe erscheint, z. B. wenn nur $\Sigma\gamma = 0$ ist, oder welches als reines Weiss erscheint, wenn $\Sigma\alpha$, $\Sigma\beta$, $\Sigma\gamma$ in dem oben erwähnten Verhältnisse zueinander stehen, oder welches als eine Mischung von weissem mit einem farbigen Lichte erscheint, wenn keine dieser Bedingungen erfüllt ist.

14. Namen und Symbole für die objektiven Farben. Wenn man die chemische Nerventhätigkeit, welche einer Farbe entspricht, durch eine symbolische Formel möglichst vollkommen darstellen will, muss man von der in der Volumeinheit der Nervensubstanz enthaltenen Masse denjenigen Theil nach Quantität und Intensität bezeichnen, in welchem das rothe, ebenso denjenigen, in welchem das gelbe und das blaue Radikal thätig ist. Es bleibt alsdann noch eine gewisse Menge von Massentheilchen übrig, welche ganz unthätig sind: dieser Theil braucht übrigens in der Formel nicht besonders benannt zu werden, da seine Wirkungsgrösse null ist.

Ist nun q die Quantität irgend eines dieser Theile und i die Intensität, womit das entsprechende Radikal darin thätig ist; so stellt das Produkt $qi = a$ die physiologische Wirkung dieses Radikals dar. Indem wir das rothe, gelbe, blaue Radikal resp. mit A, B, C bezeichnen, drücken wir durch A_a, B_b, C_c aus, dass dieselben resp. mit der Wirkung a, b, c auftreten. Die gleichzeitige Thätigkeit mehrerer Radikale vergegenwärtigen wir durch Nebeneinanderstellung ihrer Zeichen, wie es in den Symbolen der chemischen Verbindungen geschieht. Hiernach bedeutet A_a Roth, B_a Gelb, C_a Blau, $A_a B_a$ Orange, $B_a C_a$ Grün, $A_a C_a$ Violet, $A_a B_a C_a$ Weiss, $A_o = B_o = A_o B_o = A_o B_o C_o = 0$ Schwarz.

Die Zusammenfügung zweier Farben wird durch das Additionszeichen $+$, die Trennung durch das Subtraktionszeichen — angedeutet: ausgeführt kann die Operation jedoch unmittelbar an den Zeigern a, b, c werden. So bedeutet $A_a B_b + B_c C_d$ die Vereinigung einer zwischen Roth und Gelb liegenden mit einer zwischen Gelb und Blau liegenden Farbe: das Resultat ist $A_a B_{b+c} C_d$, und wäre hierin von den Zeigern a, $b + c$, d der letzte der kleinste; so könnte man diese Farbe auch als Verbindung

$C_d + A_{a-d} B_{b+c-d}$ darstellen, in welcher sie als eine Mischung zwischen Roth und Gelb liegenden Farbe mit Weiss erscheint.
ne wir die Beziehung zwischen den Zahlwerthen der Zeiger und den Intensitäten der bestehenden Farben näher besprenüssen wir der Benennung der Farben Erwähnung thun. Als ische Namen bestehen zunächst die Wörter Roth, Gelb, Blau für i Grundfarben und Orange, Grün, Violet für die drei Mischn, worunter wir nun die vollkommen gesättigten Mischfarben en, in welchen von zwei Grundfarben eine jede gleich stark vertrewie Roth und Gelb in dem Orange von der Form $A_a B_a$.
e zwischen den Grundfarben und den Mischfarben liegenden Überfarben lassen sich nur durch die obige Formelsprache genau nen: durch Worte kann man nur die Gegend des Spektrums en, wo sie liegen. Wir belegen nun eine solche Übergangsfarbe mit ttungsnamen derjenigen Grund- oder gesättigten Mischfarbe, wele zunächst liegt, und bezeichnen den Übergang zu der angesättigten Misch- oder Grundfarbe durch Vorsetzung des Namens zteren Farbe. So ist Orangenroth ein Roth, welches ins Orange dagegen Rothorange ein Orange, welches ins Roth zieht, Grünn Gelb, welches ins Grün zieht, und Gelbgrün ein Grün, welches b zieht. Bei dieser Bezeichung ist diejenige Farbe nicht besonenannt, welche genau auf der Mitte zwischen einer Grundesättigten Mischfarbe liegt; denn Orangeroth und Rothorange auf entgegengesetzter Seite derjenigen Farbe, welche die Mitte wischen Roth und Orange. Da jedoch diese Nomenklatur es unbestimmt lässt, wie weit Orangeroth von Roth entfernt liegt; n auch, wenn es ausdrücklich befürwortet wird, in einem besondelle Orangeroth oder Rothorange für die auf der Mitte zwischen nd Orange liegende Farbe gebraucht werden.
ill man hervorheben, dass die Übergangsfarbe sich nur wenig von chsten Grund- oder gesättigten Mischfarbe entfernt; so wird dem gsnamen das Bestimmungswort mit der Endung „lich" vorgesetzt. eichnet Orangelichroth ein nur wenig ins Orange spielendes Roth, horange ein nur wenig ins Rothe spielendes Orange.
ach demselben Prinzipe wird der Name der neutralen Farbenverbin-Weiss und Grau und des Farbenmangels Schwarz mit den übrigen verbunden. Man hat also Weisslichgrün und Grünlichweiss, Grauh und Röthlichgrau, Schwärzlichblau und Bläulichschwarz.
on der Benennung und Formulirung der physiologischen Farerden wir weiter unten reden.
ür jetzt ist nur noch zu bemerken, dass durch die obigen Formeln ede Farbe nach ihrer Art oder Stellung im Spektrum bet ist, indem sich z. B. die Stellung des Grün $B_b C_c$ durch das Veriss der Zahlen b und c bestimmt, dass auch durch jene Formeln tensitäten der einzelnen Farben im Vergleich zueinander rückt sind, indem sich die Intensität des Roth A_a zu der des Gelb a zu b verhält: allein es fehlt noch eine wesentliche Bestimmung, elcher der absolute Werth der Intensität einer gegebenen Farbe ervorgeht. Es entsteht nämlich die Frage nach der absoluten

Einheit, durch welche die Intensität $a = q i$, oder nach den Einheit durch welche die Quantität q der thätigen Nervenfasern und die Intens i ihrer Thätigkeit zu messen ist.

Dieses Maass kann nur ein subjektives, aus der Natur des Aug hervorgehendes sein. Es ist der Grad des schon in §. 20 No. 3 erwä ten normalen Weiss oder derjenigen Lichtthätigkeit, welche dem A am besten zusagt und welche im Allgemeinen der Tageshelle e spricht. Diese Lichtstärke ist also die gesuchte absolute Maasseinh welche wir mit 1 bezeichnen. Da aber weisses Licht aus rothem, gelb und blauem zusammengesetzt ist; so fragt es sich, ob man die Intens der Mischung oder die Intensität der einzelnen Mischungsbesta theile mit dem Zeiger 1 belegen solle. Ich bin der Ansicht, dass rationell sei, die Intensität des normal weissen Lichtes in sei Gesammtwirkung mit 1 zu belegen, also den darin enthaltenen Grundfarben den Zeiger $^1/_3$ zu geben. Hiernach hat normal weisses Li die Formel

$$A_{1/3} B_{1/3} C_{1/3} = W_1$$

Überhaupt beurtheilen wir die Intensität einer zusammengesetz Farbe nach der Summe der Zeiger, welche die Intensitäten der einzel Bestandtheile darstellen. Es ist also $a + b + c$ die Intensität der Fa $A_a B_b C_c$.

Selbstverständlich wird bei der Aufstellung dieser Formeln imm vorausgesetzt, dass jeder Farbenstrahl einen Querschnitt von bestimm Grösse habe oder eine bestimmte Flächengrösse bescheine, oder we Diess in Wirklichkeit nicht der Fall sein sollte, dass seine Leuchtk auf eine solche einheitliche Flächengrösse reduzirt sei.

Nach Vorstehendem hat das Roth, das Gelb und das Blau, welc im normal weissen Lichte enthalten ist, nur eine Intensität, welche dritten Theil der normalen ausmacht, während die Intensität Orange, des Grün und des Violet, welches aus der gesammten Menge im weissen Lichte enthaltenen Roth und Gelb, Gelb und Blau, Blau Roth zusammengesetzt wird, eine Intensität gleich zwei Drittel weissen Lichtes besitzt. Diess darf jedoch nicht so verstanden werden, d eine rothe Linie des Spektrums den dritten Theil und eine grüne Li zwei Drittel der Intensität des weissen Lichtstrahles habe, sondern d alles in einem weissen Strahle enthaltene Roth, wenn es diesel Fläche bescheint wie der weisse Strahl, den dritten Theil der Inten tät des letzteren und ebenso alles Gelb und Blau zusammen zwei Dri dieser Intensität habe.

Jetzt sind wir im Stande, irgend eine Farbe nach ihrer Formel nau zu definiren. So stellt $A_2 B_{1,2}$ ein Orangeroth von der Intensität dar, $A_{1,5} B_{0,4} C_{0,6} = A_{0,4} B_{0,4} C_{0,4} + A_{1,1} C_{0,2}$ ist ein Weissviolettroth der Intensität 2,5, welches aus Violetroth von der Intensität 1,3 und Weiss von der Intensität 1,2 zusammengesetzt ist.

Streng genommen ist übrigens bei jeder Farbe der etwaige Anth von Schwarz zu berücksichtigen. Wir wollen denselben mit S_s bezei nen und durch das Additionszeichen mit der Formel für das eigentli farbige Licht vereinigen. Allgemein ist daher jede Farbe symboli durch einen Ausdruck von der Form

$$A_a B_b C_c + S_s = A_{p i_1} B_{q i_2} C_{r i_3} + S_s$$

ellt. Hierin bezeichnen p, q, r die Quantität der in der Volumeinheit rvensubstanz oder in einem Längenelemente eines Nervenfadens timmtem Querschnitte enthaltenen Moleküle, in welchen das rothe, be, das blaue Radikal thätig ist, ferner s die Quantität der unthä- Moleküle, i_1, i_2, i_3 die Intensität, womit das rothe, das gelbe, das Radikal thätig ist, also $a = p i_1$, $b = q i_2$, $c = r i_3$ die Wirkungs- des rothen, des gelben und des blauen Radikals. Die Summe $+ r + s$ muss immer gleich der Quantität der in der Volumeinheit nen Moleküle sein und die Summe $a + b + c = p i_1 + q i_2 + r i_3$ ie Lichtstärke des ganzen Strahles dar. Das Schwarz hat keine ät und Wirkungsgrösse, die Grösse s hat also keinen Einfluss auf tstärke des Strahles.

e Hinzufügung von Schwarz fordert hiernach immer die Ver- rung der Quantität der thätigen Moleküle und die hrung der unthätigen. Im Allgemeinen werden die Quan- a, b, c der mit dem rothen, gelben und blauen Radikale thätigen inander gleich und nur die Intensitäten i_1, i_2, i_3 verschie- n, indem jedes einzelne Molekül gleichzeitig den Prozess der gelben und blauen Farbe entwickelt: eine Hinzufügung von rz vermindert alsdann gleichmässig alle drei Quantitäten um gleich viel, erhält also die Gleichheit $a = b = c$ ungestört auf- Das Gleichbleiben der Quantitäten a, b, c ist übrigens kein noth- s Erforderniss: ändern sie sich durch die Hinzufügung von Schwarz, also der Thätigkeit des einen Radikals mehr Theilchen entzogen, als anderen; so hat Diess zur Folge, dass die Nuance der Farbe twas ändert. In allen Fällen entspricht dieser physiolo- Vorgang genau dem physikalischen, nach welchem ein es, verdeckendes Pigment, wenn es mit einem Farbstoffe ver- wird, einen Theil der farbigen Strahlen auslöscht (§. 20 Nr. 5).

Graphische Darstellung des Lichtprozesses. Das Wesen tprozesses im Sehnerven gewinnt noch an Anschaulichkeit durch Betrachtungen.

jeder Körperbildung wird sich die Materie unter der Herrschaft innewohnenden Kräfte so zusammenfügen, dass Elemente von ge- rösse und Form die Grundbestandtheile bilden, aus welchen per zusammengesetzt erscheint, sobald man ihn als ein Ganzes wissen Eigenschaften auffasst, deren charakteristische Merk- f den wesentlichen Eigenschaften jener Grundbestandtheile beru- n solches konstituirendes Element ist durchaus nicht ein- l untheilbar, es ist auch nicht für jede Körperklasse an dieselben ngen gebunden: es bildet vielmehr den Grundbestandtheil des Ganzen der Art wie ein Quarzkorn mit einem Antheile von umgebendem en Grundbestandtheil des Sandsteines, oder wie die Verbindung dspath, Quarz und Glimmer den Grundbestandtheil des Granites, e das Formelement eines Krystalles den Grundbestandtheil des- oder wie die Zelle den Grundbestandtheil eines organischen Gewe- let, solange wir diese Körper nach denjenigen Eigenschaften auf-

fassen, welche sie eben resp. als Sandstein, als Granit, als Krys als Gewebe u. s. w. besitzen. Jede Horizontalreihe von Kügelche den Figuren 486 und 487 stellt nun ein solches konstituirendes Ele der Nervensubstanz dar.

Ein konstituirendes Element ist, wie schon erwähnt, nicht ein dasselbe bildet selbst ein Ganzes aus gewissen Theilen. So besteht konstituirende Element des Granites aus gewissen gesetzlich verbund Mengen von Feldspath, Quarz und Glimmer, das konstituirende Ele eines Kalkspathkrystalles aus der chemischen Verbindung einer abg senen Menge von Kalzium und Sauerstoff. Ebenso ist unser konstitu des Nervenelement aus abgemessenen gesetzlich verbundenen aufeinander reagirenden Mengen der drei Radikale *a*, *b*, sammengesetzt.

Demgemäss können wir jedes Radikal eines konstituirenden El tes nach Fig. 486 als eine stetige Fläche von gewisser Länge und sinnbildlich darstellen. In dem k tuirenden Elemente, also auch i dem Radikale sei die Materie sc tenweise gelagert, was durc horizontalen Linien in den Fl *a*, *b*, *c* angedeutet ist. Zusam gehörig oder nach chemischen Gesetzen unmittelbar mitein verbunden sind dann von den Flächen *a*, *b*, *c* immer je drei P welche in diesen Flächen eine homologe Lage haben, also gleich von dem linken Ende nach rechts hin abstehen und in derselben Sch liegen.

Fig. 486.



Nehmen wir nun an, dass in Folge eines Lichtimpulses imme ganze Schicht gleichzeitig in Thätigkeit trete, dass also bei geeig Veranlassung bald mehr, bald weniger von diesen Schichten, immer ganze Schichten schwingen; so drückt die Menge der thä Schichten die Quantität des Lichtes aus und es ist klar, dass i eine gewisse Menge von Schichten ruhen kann, auch dass von de tigen Schichten einzelne zur Ruhe gelangen können und das solcher Austritt aus der Thätigkeit sich immer über alle Rad verbreiten muss, also der Wirkung der Beimischung von Sch entspricht.

Von der thätigen Quantität des Radikals *a* kann nun eine gr oder kleinere Menge mit den korrespondirenden Mengen der Radik und *c* das Spiel der chemischen Oszillation vollführen, d. h. jene von *a* kann sich auf- oder abwärts bewegen, während sich die zugeh Mengen von *b* und *c*, ohne ihre Verbindung zu lösen, isochron in gengesetzter Richtung, jedoch mit geringerem Ausschlage bewegen. durch wird also ein gewisser Theil der Gesammtthätigkeit auf den zess der rothen Farbe verwandt. Ebenso kömmt ein gewisser der Gesammtthätigkeit auf den Prozess der gelben und auf de blauen Farbe. Diese drei Theilprozesse können also quantitat nach den äusseren Impulsen verschieden sein.

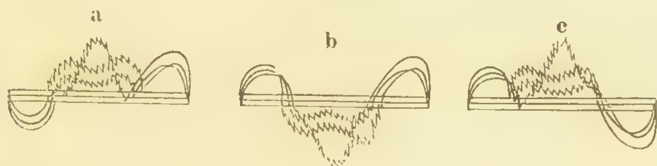
Ausser der Quantität oder Menge der schwingenden The kann aber auch die Intensität oder die Amplitude in jedem

rei Prozesse eine verschiedene sein, ja es kann sogar die Schwingungs-ntensität für die *einzelnen Theilchen* jeder Partialquantität eine ınendlich *verschiedene* sein.

Hiernach bleiben also von den Schichten der Radikale *a*, *b*, *c* Fig. 486) eine gewisse Menge in Ruhe; dieselben behalten bei der graphi-chen Darstellung des Lichtprozesses die Form der geraden Linie bei. Die ıätigen Schichten theilen sich übereinstimmend für *a*, *b* und *c* in drei heile, welche im Allgemeinen eine ungleiche Länge haben können. Der ste Theil gehört dem rothen, der zweite Theil dem gelben, der dritte m blauen Prozesse an. Jede Schicht des ersten Theils, welche den ·then Prozess vollführt, verwandelt sich, um das Maximum des Aus-hlages darzustellen, in eine *Kurve von beliebiger Gestalt*, welche e Amplitude für jedes einzelne Theilchen dieser Schicht anzeigt. Die orm dieser Kurve kann beliebig sein; für die schwächere rückgängige ewegung von je zwei Radikalen, welche die zugehörigen Bestandtheile zu m dritten Radikale bilden, liegt die Kurve auf entgegengesetzter Seite r Schichtlinie und ist flacher. Jede Schicht kann eine *besondere* urve darstellen. Im zweiten Theile, für den *gelben* Prozess, und im itten Theile, für den *blauen*, verhalten sich die Sachen ähnlich.

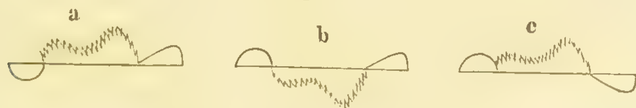
Für irgend einen fingirten Fall also, wo drei Schichten unthätig und ei Schichten thätig sind, wo der rothe Prozess etwa den vierten Theil, r gelbe etwa die Hälfte, der blaue etwa den vierten Theil der thätigen asse in Anspruch nimmt und die Intensität des gelben Prozesses vor-ltet, kann der Gesammtprozess, welcher ein weisslich gelbes Licht liefert, va durch Fig. 487 dargestellt werden.

Fig. 487.



Für viele Zwecke wird es einfacher und übersichtlicher sein, die unthä-en Schichten aus der graphischen Darstellung fortzulassen und von den ensitätskurven der thätigen Schichten nur die *mittlere Intensi-tskurve* zu verzeichnen. Diess giebt eine Darstellung wie Fig. 488.

Fig. 488.



Das Zusammenlegen aller Theilchen, welche denselben Grundprozess lführen, dient nur zur Übersichtlichkeit. In Wirklichkeit wird die Rei-folge der Grundprozesse in jeder *Schicht* eine ganz beliebige sein nen. Fig. 489 (a. f. S.) giebt das Bild einer solchen Bewegung in einer *stimmten Schicht*, die darunter gesetzten Buchstaben *r*, *g*, *b* bezeich-

nen resp. den rothen, gelben und blauen Prozess. Jede besonder Schicht kann nun ihre besondere Bewegung haben.

Fig. 489.



16. Stoffwechsel. Die im Vorstehenden beschriebene Thätigke des Sehnerven ist ein Vibrationszustand, bei welchem zwei verschieden Zustände einem regelmässigen Wechsel unterliegen. Am Ende ein Schwingung besteht genau derselbe Zustand, wie im Anfange: es kann al kein Verlust an Arbeit mit diesem Prozesse verbunden sein, und unt Arbeit verstehen wir jede Thätigkeit, welche dem mechanischen Begrif von Arbeit, d. h. von Thätigkeit der bewegenden Kraft, von Au übung eines gewissen Druckes mit einer gewissen Geschwin digkeit analog ist. Bei diesen, wie überhaupt bei allen Vibrationen fi det zwar in den einzelnen Perioden ein und derselben Schwin gung Verlust an Arbeit statt: allein in den ferneren Perioden tritt ei ebenso grosser Gewinn an Arbeit wieder ein, sodass nach Verlauf ein Schwingung weder Verlust noch Gewinn an Arbeit vorhanden ist. Di bekannten Prinzipien der Mechanik, auf welchen die Deduktion der Be harrlichkeit eines Vibrationszustandes beruht, sind von solcher Allgemei heit, dass sie auf jeden oszillatorischen Wechsel von Zuständen, also auc auf den chemischen Nervenstrom Anwendung finden.

Das vorstehende Gesetz der Konstanz der in einem vibrirend Systeme vorhandenen Arbeit gilt übrigens in aller Strenge nur so lang als seine nothwendigen Voraussetzungen in Strenge vorhanden sind. Di erste unerlässliche Voraussetzung ist die der vollkommenen Elastiz tät des vibrirenden Systems. Der Begriff von Elastizität stammt zw aus der Mechanik und findet in seiner gewöhnlichen Bedeutung nur Anwe dung auf Systeme von Kräften: allein wie ich schon in dem Buc „Körper und Geist" gezeigt habe, ist dieser Begriff einer Ve allgemeinerung auch auf das Gebiet der Neigungen (Affinitäten) fäh und stellt in dieser Ausdehnung die Eigenschaft eines Systems dar, d Veränderung seines natürlichen Bestandes einen der Veränderung propo tionalen Widerstand entgegenzusetzen, und vermöge dieses Widerstand wieder in den ursprünglichen Zustand zurückzukehren. Wird eine solchen Systeme ein Impuls ertheilt; so entsteht Bewegung (Veränderun In dem Augenblicke, wo der Impuls durch die Arbeit der Widerstän vernichtet ist, befindet sich das System nicht im ursprünglichen od Gleichgewichtszustande, kann also nicht in Ruhe (nicht ohne ferne Veränderung) verharren, sondern muss gegen den ursprünglich Zustand zurückkehren, erreicht diesen Zustand mit Bewegung, üb schreitet denselben also nach entgegengesetzter Seite und wiederh hier ein Spiel von Veränderungen, welches dem auf der erster Seite ganz ähnlich ist. Bei der Vollendung dieser zweiten Hälf der Schwingung findet wiederum der Zustand statt, in welchen das Syste durch den Impuls versetzt wurde; es beginnt also die zweite Schwingu

nau wie die erste; der Vibrationszustand wird ein unendlicher, bei lchem der Bestand an Arbeit in Perioden, welche durch die Länge der ıwingungen bezeichnet sind, unveränderlich bleibt.

Ein vollkommen elastisches System schwingt also beharrlich mit glei-r Intensität ewig fort. An einem solchen Systeme und in einem sol-n Zustande, wo keine Veränderung der bewegenden Kräfte stattfindet, nn auch der übrige Bestand von Kräften und Neigungen, welche von en bewegenden Kräften abhängen, sich nicht ändern. Ein solches stem kann also in Folge der Vibration keine dauernde Veränderung end einer Art, keine Schwächung, keinen Verlust an Stoff erleiden; kann also auch nicht diejenige Veränderung darin eintreten, welche n gewöhnlich Stoffwechsel nennt und welche in einer Sekretion ı Stoffen besteht, auf welche bei späterer günstiger Gelegenheit wieder similation folgt.

Ist das System nicht vollkommen elastisch, und alles Irdische unvollkommen; so erhält sich der Zustand eines regelmässigen chsels nicht aufrecht, die Intensität, die Amplitude der Schwingungen mindert sich, es tritt ein allmählicher Verlust der dem Systeme ein-rückten Arbeit ein. Inzwischen geht auf der Welt Nichts wirkungs-verloren: der Verlust an Arbeit ist daher nur eine scheinbare nichtung; in Wahrheit ist derselbe eine Verwandlung jener Arbeit andersartige Effekte. Indem ein mechanischer Schwingungszustand er Glocke sich allmählich verliert, erschüttert sie die umgebende ft, erzeugt also andere mechanische Effekte, sie tönt; ausserdem richtet sie an ihrem Aufhängepunkte eine mechanische Arbeit durch ibung, indem sie Metall polirt und abreibt; ferner produzirt sie rme; endlich verändert sie dauernd ihr Molekulargefüge, ihre stigkeit, ihre Form und auch die chemische Verbindung r Elemente. Theils die Unvollkommenheit der inneren Konstitution erregten Körpers, theils der unvermeidliche Einfluss der Systeme, wo-jener Körper in Verbindung steht, bewirkt also, dass eine auf jenen per entwickelte Arbeit nicht den ihrer direkten Wirkung entsprechen-einfachsten Verlauf nimmt, sondern sich in verschiedenartige Ef-te zerlegt. Demnach tritt bei jedem Vibrationszustande fast immer Verlust an Stoff, eine Sekretion, Zersetzung, Lockerung, störung, Schwächung, überhaupt eine dauernde Abweichung n der ursprünglichen Beschaffenheit ein.

In organischen Gebilden ist diese Sekretion die Bedingung des so entlichen Stoffwechsels. Denn es werden durch jede Thätigkeit, che Sekretion veranlasst, vornehmlich diejenigen Theilchen ausgestossen, che mit der geringsten Kraft am Organismus haften, also vornehmlich ältesten, die schwächsten, die verdorbensten, die abnormen u. s. w. Sekretion ist daher zunächst ein Reinigungsprozess, welcher Neigung zur Anbildung neuer Elemente eben dadurch belebt, dass lie unwirksam werdenden Elemente ausstösst, folglich die kräftigeren, geren und normaleren in Assimilationsthätigkeit versetzt.

In allen Fällen treten also während und unmittelbar nach der Thä-keit des Sehnerven in seiner Substanz Sekretionsprodukte auf, deren

Beschaffenheit durch jene Thätigkeit bedingt ist, also von der Farb des erregenden Lichtes abhängt. Eine feine chemische Analyse unter Ve hältnissen, welche über die Darstellung der Sekretionsprodukte kein Zweifel lassen, würde daher wahrscheinlich die Mittel liefern, auf die ch mische Beschaffenheit der Radikale a, b, c einen Schluss zu machen.

Dem Vorstehenden haben wir noch hinzuzufügen, dass prinzipie mit jeder Vibrationsthätigkeit sowohl in einem anorganischen, w in einem organischen Körper eine dauernde Molekularveränderun und auch Stoffverlust verbunden ist, dass sich jedoch der Prozess einem organischen Körper von dem in einem anorganischen Körp wesentlich durch die Mitbetheiligung der Organisations- oder Leben kraft unterscheidet. Der anorganische Körper erleidet einen Verlus eine Schwächung, eine Schädigung, welche sich durch die Selbstthäti keit des Körpers nicht wieder ausgleichen kann. Der organische Körp erleidet diese Verschlechterung zwar ebenfalls: allein für ihn liegt in diese Angriffe auf seinen Bestand der Impuls zur organischen Umbildun Demgemäss geht der ganze Prozess, sowohl der der Assimilation, a auch der der vorhergehenden Sekretion unter der Herrschaft d Lebenskraft vor sich; es werden also schon bei dem Ausscheidung prozesse, also bei der Vibrationsthätigkeit, bei dem Sehen, diejenigen O gane in Mitthätigkeit gezogen, welche den Stoffwechsel oder die E nährung leiten; ausserdem ist selbstverständlich das ganze übrige Ne vensystem, insbesondere das Gehirn bei jenem Prozesse mitthät und beeinflusst unter den allgemeinen Gesetzen des Organisnus jenen Pr zess, wie es selbst davon beeinflusst wird (vergl. §. 73).

Schliesslich ist hervorzuheben, dass in organischen Gebilden das Ve hältniss eines Organs zum Ganzen eine Rolle spielt, welche der an ganischen Natur fremd ist. Dieses Verhältniss bedingt manche Eigenthü lichkeiten, unter anderem den Normalzustand, die Gesundheit u die besonderen Thätigkeiten, welche, wenn jener Normalzustand erhebli überschritten ist, die Wiederherstellung desselben bezwecken, also d Krankheits- oder Heilungsprozess (vergl. §. 73).

17. Die ultraprismatischen Strahlen. Aus den in §. 2 No. 13 en wickelten Anschauungen und unseren jetzigen Annahmen über die ph siologische Natur der Farben müsste man schliessen, dass wenn das Au für die ausserhalb des Farbenspektrums liegenden Strahlen die nöthi Empfindlichkeit besässe, die über dem rothen Ende liegenden Strahl allmählich in violette und dann in blaue, die unter dem violetten En liegenden Strahlen dagegen allmählich in rothe und dann in orange übergehen würden. Bei hinreichender Verstärkung der Intensität u Absperrung des gewöhnlichen Spektrums wird nun zwar ein kurzes Stü ultrarother und ein längeres Stück ultravioletter Strahlen sichtbar: d ersteren bleiben aber im Wesentlichen roth und ziehen ins Braune; d letzteren behalten die blaue Färbung als Grundton und ziehen ins Grü liche.

Diese Veränderung stimmt allerdings nicht mit der Voraussetzu überein: allein es ist zu erwägen, dass es sich hier um abnorme Affekti nen handelt, für welche das Auge nicht organisirt ist. Bei den ultraroth

Strahlen sinkt die Vibrationsgeschwindigkeit und bei den ultravioletten die Wellenlänge unter das Minimum, für welches ein normaler Eindruck noch möglich ist: die bei genügender Intensität von solchen Strahlen erzeugten Affektionen werden daher zwar den allgemeinen Charakter der Lichtwirkungen zeigen, sie können aber nicht mehr das strenge Gesetz des Chemismus des Farbenprozesses befolgen. Sehen wir noch an dem Farbenwechsel anorganischer Stoffe unter verschiedenfarbiger Beleuchtung (§. 68) und bei der Fluoreszenz (§. 2 No. 14), dass wenn die Schwingungen des erregenden Lichtes dem natürlichen Vibrationssysteme des erregten Körpers nicht entsprechen, sich aus der Konkurrenz des erregenden Vibrationssystems und dem natürlichen Vibrationssysteme ein neues System bildet, welches in manchen Stücken weder dem ersteren, noch dem letzteren entspricht und dass sich hierbei raschere Vibrationen nicht in langsamere umsetzen. Hiernach kann es nicht befremden, dass Strahlen, wie die ultraprismatischen, deren Affektionen dem Chemismus der Sehnervensubstanz nicht mehr entsprechen, eine Bewegung der drei Radikale erzeugen, welche von dem obigen Gesetze etwas abweicht. Kämen hierbei ähnliche Beziehungen, wie bei der Fluoreszenz zur Erscheinung, brächten also die zu raschen Impulse diejenigen Radikale zur Thätigkeit, welche sonst nur bei langsameren Impulsen thätig werden; so könnte man von ultrarothen Strahlen keine namhafte Wirkung und Veränderung, von den ultravioletten Strahlen jedoch nur die Erregung des gelben Radikales erwarten.

Dieses Resultat ergiebt sich denn auch in der Erscheinung.

18. Reinheit des Farbeneindruckes. Überhaupt leuchtet ein, dass unter gewissen Umständen und namentlich bei der Konkurrenz verschiedener Farbenstrahlen in derselben Nervenfaser wegen der Unvollkommenheit des Organismus mässige Abweichungen von dem obigen strengen Gesetze in der Weise entstehen können, dass das eine oder andere Radikal in zu starkem oder zu schwachem Maasse oder dass überhaupt ein gesetzlich unbetheiligtes Radikal in schwache Thätigkeit gesetzt wird.

Es ist auch möglich, dass das Leben in dem gelblichen Sonnenlichte der Thätigkeit des gelben Radikals eine gewisse Vorliebe zur Betheiligung an dem physiologisch-chemischen Prozesse verleiht, welche das obige Gesetz ein wenig stört.

Im Allgemeinen können diese Beeinträchtigungen nicht von solcher Bedeutung sein, dass sie das wahre Grundgesetz unkenntlich machten. Etwaige erheblichen Abweichungen von diesem Gesetze müssen daher auf besonderen nachweisbaren Ursachen beruhen. Im Folgenden wollen wir versuchen, unser hypothetisches Gesetz auf einige solcher Abweichungen zu prüfen.

19. Verbindung und Verschmelzung zweier Farbenstrahlen. Wir haben schon in §. 20 No. 5 darauf aufmerksam gemacht, dass selbst in ein physikalischem Sinne ein Unterschied zwischen Quantität und absoluter Intensität eines sonst ganz gleichartigen Lichtstrahles besteht. Fassen wir den Querschnitt der Äthermasse eines solchen Strahles ins Auge; so kann die Stärke desselben sowohl dadurch vermehrt werden,

dass eine grössere Anzahl von Massenelementen mit der nämlichen Amplitude in Schwingungen versetzt werden, als auch dadurch, dass die Amplitude der schwingenden Elemente vergrössert wird. In vielen Hinsichten können in Bezug auf die Wirkungen des Lichtes jene beiden Veränderungen als äquivalent gelten: in manchen Beziehungen muss jedoch die reelle Verschiedenheit jener beiden Prozesse beachtet werden, da aus jedem gewisse eigenthümliche Wirkungen entspringen.

So entspricht z. B. die Auslöschung eines Theiles der elementaren Strahlen, also die Verminderung der Quantität der Hinzufügung von Schwarz zu einer Farbe, die Verminderung der Amplitude jedoch der Schwächung dieser Farbe, was nach §. 20 No. 5 verschiedene Effekte hervorbringt.

Nennen wir daher die Nebeneinanderlegung zweier einfachen Strahlen ihre Verbindung, welcher die Trennung entgegengesetzt ist, dagegen die Ineinanderlegung zweier Strahlen mit angemessener Veränderung ihrer Amplitude, ihre Verschmelzung oder Zusammensetzung, welcher die Zerlegung entgegengesetzt ist. Der erstere Prozess bewirkt eine Vermehrung, resp. Verminderung der Strahlen oder des Lichtes, der letztere dagegen eine Verstärkung, resp. Schwächung desselben.

Die Verschiedenheit des Charakters dieser beiden Vorgänge tritt besonders dann hervor, wenn es sich nicht um gleichfarbige, sondern um verschiedenfarbige Strahlen, also um Strahlen von verschiedener Vibrationsgeschwindigkeit und Wellenlänge handelt. Bei der Verbindung zweier Strahlen von verschiedener Vibrationsgeschwindigkeit existiren beide Strahlen unverändert nebeneinander und ein jeder bringt, ungehindert vom anderen, seine spezifische Wirkung hervor. Dieser Fall entspricht der Mischung zweier Pigmente (deren Theilchen sich bei der Mischung nicht chemisch ändern, sondern nur nebeneinander lagern). Bei der Verschmelzung zweier Strahlen von verschiedener Vibrationsgeschwindigkeit wird jedoch einunddasselbe Äthertheilchen durch zwei Systeme von Kräften angegriffen, welche sich nach mechanischen Gesetzen komponiren und dem Theilchen eine eigenthümliche Schwingungsweise ertheilen, welche nicht mehr den Charakter der Einfachheit an sich trägt, sondern die bekannte Verschmelzung zweier Vibrationssysteme darstellt. Dieser Fall entspricht der Verbindung der prismatischen Farben durch Zusammenführung derselben auf einunddenselben Punkt. Eigenthümlich bei der letzteren Komposition ist z. B., dass in Folge der kombinirten Affektion eines Äthertheilchens durch zwei Strahlen von verschiedener Vibrationsgeschwindigkeit immer im Verlaufe der Bewegung Momente vorkommen, wo sich die Kräfte, welche den Ausschlag nach einer Seite erzeugen, addiren, und dann wieder Momente, wo sich diese Kräfte subtrahiren, sodass die Amplitude immer zwischen einem Maximum und einem Minimum schwankt.

Bei der Wirkung auf die Nervensubstanz können diese beiden Prozesse leicht gewisse Unterschiede im Chemismus hervorbringen. Insofern es sich um die gesetzliche Herstellung des Eindruckes der Mischfarbe handelt, muss im Allgemeinen die Verbindung der Farben, also die Wirkung gemischter Pigmente (ihre Reinheit vorausgesetzt) den

:chtigsten Effekt hervorbringen, weil hier von einer gegenseitigen eeinträchtigung am wenigsten die Rede sein kann. Bei der Verschmelıng, also bei der Zusammenwirkung prismatischer Farbenstrahlen kann ıgegen die Komposition der verschiedenen Vibrationssysteme möglicher-eise den Chemismus stören und Abweichungen von der obigen Norm ·rbeiführen.

Ob in den farbigen Strahlen eines durch Lichtimpulse erregten Kör-rs, welche sich durch das Prisma zerlegen lassen, die einfachen Strahlen ebeneinander oder ob sie ineinander liegen, wird schwer zu ermit-ln sein. Viele Körper sind aus verschiedenfarbigen Stoffen gemischt und lden alsdann Bündel von nebeneinander liegenden Strahlen, welche doch nicht nothwendig einfach zu sein brauchen. Stellt der Körper ine natürliche Mischung, sondern einen homogenen Stoff dar, dessen ırbe im Prisma zerlegbar ist; so kömmt immer noch in Frage, ob ein rahl dieser Farbe, welcher von einem Massentheilchen des Körpers aus-ht, nebeneinander oder ineinander liegende Elemente hat. Schwingt ler Bestandtheil eines aus Äther und Ponderabelem zusammengesetzten assentheilchens mit einer bestimmten Vibrationsgeschwindigkeit, wie es ir allerdings wahrscheinlich ist, pflanzt sich dieses Vibrationssystem lbstständig fort; so bilden sich verbundene Strahlen, wie bei der ischung der Pigmente: bildet sich dagegen aus diesen Partialschwin-ngen bei der Einwirkung auf das fortpflanzende Äthertheilchen eine esultante, welche alle jene Einzelsysteme verschmilzt; so hat man mit einem komponirten Systeme zu thun. In der Wirklichkeit wird ohl bald der eine, bald der andere Zustand, bald aber auch ein Mittel-stand von beiden stattfinden.

Eine dritte Art der Farbenmischung ist die durch rotirende Flä-en, welche mit verschiedenen Farben bemalt sind. Hierdurch wird in wissen Zeitintervallen dasselbe Äthertheilchen von verschiedenen brationssystemen erregt; es gelangen also kurze Strecken verschiedener rbenstrahlen nacheinander ins Auge und zur Wirkung auf den Seh-rven. Dieser Fall würde mehr der Mischung von Pigmenten ent-echen, wenn die chemische Erregung so rasch eingeleitet und geschlos-ı würde, wie die Lichterregung des Äthers, und sie würde mehr der rschmelzung prismatischer Farben entsprechen, wenn der Che-smus der Nervensubstanz, wie es wirklich der Fall ist, mit einer gewis-ı Trägheit vor sich geht, sodass die Wirkung der einen Farbe sich in Wirkung der anderen Farbe hinüberzieht.

Durch Vorstehendes haben wir uns überzeugt, dass die Mischung von gmenten und die Verschmelzung von prismatischen Strahlen allerdings ne verschiedene Wirkung auf das Auge hervorbringen kann. Jedenfalls ınn jedoch diese Verschiedenheit keine sehr erhebliche sein, da wir beob-ıten, dass sich im Prisma ein verbundener Strahl ebenso gut wie ein rschmolzener Strahl in seine einfachen Bestandtheile auflös't. So wird 3. irgend eine schmutzige Farbe, etwa ein Braun, sich durch das Prisma seine elementaren Farben zerlegen: wenn man aber diese Farben auf ıen Punkt wieder zusammenführt, wird man nicht leicht jenes schmutzige aun wieder erhalten, weil dasselbe auf einer Beimischung von Schwarz er auf dem Vorhandensein unthätiger Ätherlinien beruhte, welche bei

der Zusammenführung der nur leuchtenden Linien ausgeschlossen werden; immer aber wird doch der Grundton beider Farben sich als derselbe charakterisiren.

20. Einfaches und zusammengesetztes Licht in objektiven und in subjektiver Bedeutung. In objektiver oder physikalischen Beziehung nennen wir einen Lichtstrahl einfach, wenn seine Schwingungen nur aus einem einzigen Systeme isochroner Vibrationen bestehen. Die physiologische Wirkung eines solchen objektiv einfachen Lichtstrahles kann bald nur ein einziges, bald aber auch zwei Radikale in Thätigkeit setzen. Bezieht man also den Begriff der Einfachheit des physiologischen Prozesses auf die Anzahl der thätigen Radikale; so verliert derselbe fast alle Bedeutung. Es kömmt aber bei diesem, wie bei dem physikalischen Prozesse auch die Vibrationsgeschwindigkeit in Betracht. Diese Geschwindigkeit der periodischen chemischen Gruppirung muss nun offenbar einen mit der Vibrationsgeschwindigkeit des physikalischen Prozesses übereinstimmenden Isochronismus haben, gleichviel welche und wie viel Radikale in Thätigkeit gesetzt werden, weil der chemische Austausch doch Schritt halten muss mit den Impulsen, welche ihn veranlassen.

In aller Strenge ist dieser Isochronismus nun zwar wahrscheinlich nicht zu erreichen. Denn wenn wir annehmen, der reinen Thätigkeit des Radikals a entspreche die Vibrationsgeschwindigkeit α und der reinen Thätigkeit des Radikals b die Vibrationsgeschwindigkeit β; so wird eine zwischen α und β liegende Vibrationsgeschwindigkeit δ zwar gleichzeitig a und b in Thätigkeit setzen: allein diese Thätigkeit wird unter einem gewissen Zwange vor sich gehen, welcher bewirkt, dass die Geschwindigkeiten, welche a und b wirklich annehmen, sich von den natürlichen α und β mehr oder weniger entfernen. Ausserdem kann die Nichtübereinstimmung der Geschwindigkeiten von a und b mit der Geschwindigkeit δ der erregenden Impulse Störungen oder Absorptionen erzeugen und zuweilen auch bewirken, dass das dritte Radikal c, wennauch nur schwach, mit in Thätigkeit tritt.

Zusammengesetzt in objektiver Beziehung ist ein Licht, in welchem sich mehrere einfachen Wellensysteme vereinigen. Ein solches Licht wird im Sehnerven einen Prozess hervorrufen, welcher in Beziehung auf die Geschwindigkeiten der einzelnen Radikale ebenfalls ein zusammengesetzter ist. Obgleich häufig durch einen objektiv zusammengesetzten Strahl im Sehnerven eben dieselben Radikale und auch in eben denselben Massenverhältnissen in Thätigkeit gesetzt werden können, wie durch einen einfachen Strahl; so werden sich doch nach Vorstehendem die beiden physiologischen Prozesse durch die Vibrationsweise der einzelnen Radikale unterscheiden und es ist immerhin möglich, dass diese materielle Verschiedenheit auch dem geistigen Eindrucke eine gewisse Verschiedenheit verleiht.

So kann z. B. grünes Licht sowohl durch ein einfaches objektives Wellensystem, als auch durch ein aus gelben und blauen Strahlen zusammengesetztes System erzeugt werden. Beide Prozesse lassen sich so einrichten, dass im Nervenprozesse die Massenverhältnisse der thätigen gelben

l blauen Radikale in beiden Fällen sich gleich bleiben: dessenungeachtet es möglich, dass wegen der Verschiedenheit der Vibrationsgeschwindigten das einfache Grün einen etwas anderen Eindruck macht als das zusammengesetzte.

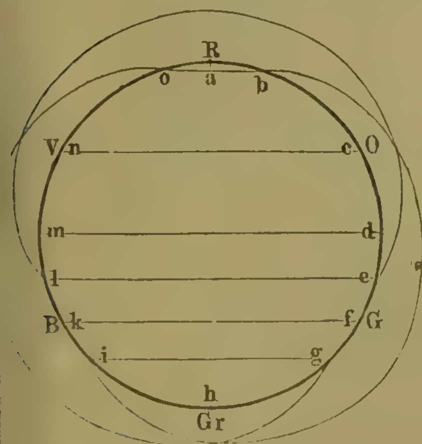
Für gross werden diese Unterschiede immer nicht zu halten sein, ils weil wir annehmen, dass die Farbe prinzipiell durch die Massenhältnisse der thätigen Radikale bedingt ist und weil es wahrscheinn ist, dass sich bei einem bestimmten Massenverhältnisse zwischen zwei likalen auch immer nahezu ein bestimmter Vibrationszustand eines en derselben einstellt, gleichviel auf welche Weise diese Elemente in itigkeit gesetzt werden.

Von besonderer Wichtigkeit bei der Wirkung zusammengesetzter ahlen ist das Auftreten des weissen Lichtes. Sobald alle drei Radie in Thätigkeit kommen, entsteht immer weisses Licht neben gebtem.

Nach Vorstehendem ist auch klar, dass wie man auch ein objektives llensystem zusammensetzen möge, die physiologische Wirkung stets nur sein kann, dass alle drei Radikale in einem gewissen Massenverhältse erregt werden. Scheidet man von diesen Massen das darin enthale grösstmögliche Quantum von weissem Lichte ab; so bleiben nur noch ei Radikale über. Da es überhaupt nur drei Radikale giebt; so sind in kreisförmigen Reihenfolge immer je zwei einander benachbart. Die ch zwei Radikale bedingte Farbe entspricht also, soweit das Massenhältniss dabei entscheidend ist, immer einer prismatischen Farbe. raus geht hervor, dass in subjektiver Wirkung jede denkbare rbe nur aus einer prismatischen Farbe und aus weissem Lichte sammengesetzt sein kann. Vorbehalten ist hierbei nur die Besonheit des Eindruckes, welche auf der Vibrationsweise der einzelnen likale und auf der Unterdrückung gewisser Lichtpunkte, d. h. auf Beimischung von Schwarz beruht.

21. Systematische Zusammensetzung der prismatischen Farben objektiver Beziehung. Es ist von Interesse, das Resultat gewisser systematischen Farbenzusammensetzungen näher zu erörtern.

Fig. 490.



Aus Fig. 490 ist das Feld ersichtlich, auf welchem im kreisförmigen Farbenspektrum jedes Radikal thätig ist. So ist das rothe Radikal von *l* bis *e*, das gelbe von *b* bis *i*, das blaue von *g* bis *o* thätig.

Stellt man sich jetzt die Aufgabe, die Farben zu untersuchen, welche durch Mischung von zwei solchen prismatischen Farben entstehen, welche in diesem Kreise von einem gegebenen Punkte immer einen gleichen Abstand nach rechts und

nach links und gleiche Intensität haben, deren Mischung also eine Vereinigung von zwei Wellensystemen von konstanter Durchschnittsgeschwindigkeit darstellt; so ergiebt sich Folgendes. Angenommen man wähle den Mittelpunkt h des Grün zum Ausgangspunkte, mische also immer je zwei Farben, wie g und i, f und k, e und l u. s. w., welche an den Enden der horizontalen Sehnen liegen; so leuchtet ein, dass alle Mischungen, deren Bestandtheile bis zur Sehne gi reichen, grün sind. Einfach ist von allen diesen grünen Farben in objektiver Bedeutung nur die aus dem Punkte h stammende, alle anderen sind zusammengesetzt, haben aber dieselbe Durchschnittsgeschwindigkeit, repräsentiren auch nahezu dieselben Massenverhältnisse des gelben und blauen Radikals, müssen also auch ungefähr denselben physiologischen Eindruck machen. In physikalischer Hinsicht ist jede dieser Farben nur aus zwei einfachen Wellensystemen zusammengesetzt; in physiologischer Hinsicht handelt es sich jedoch um die Zusammensetzung zweier grünen Farben, also um die Zusammensetzung zweier an sich schon zusammengesetzten Systeme.

Steigt man über die Sehne gi hinaus; so erhält man bis zur Sehne el ebenfalls nur grüne Farben, welche jedoch nicht mehr aus zwei grünen, sondern aus einem gelben und einem blauen Tone zusammengesetzt sind.

Bei der Überschreitung der Linie el tritt das rothe Radikal mit ein. Bis zur Linie bo ist aber auch das gelbe und das blaue noch vorhanden. Anfangs, d. h. nahe über der Linie el ist der rothe Antheil gering; derselbe verbindet sich mit einem entsprechenden Antheile von Gelb und Blau zu Weiss; das Resultat ist also grünes Licht mit Weiss gemischt.

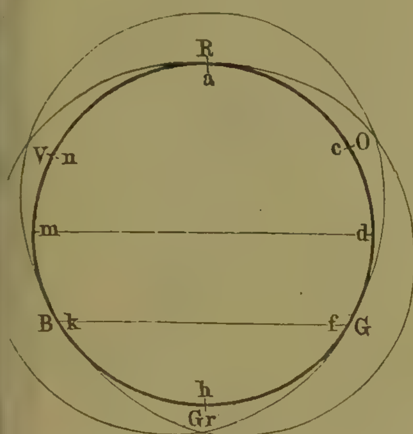
Bei der Linie bo hört die Wirkung des gelben und blauen Radikals ganz auf. Ehe jedoch diese Linie erreicht ist, wird die Sehne dm passirt, welche die beiden Lateralfarben von Grün (wie wir die im kreisförmigen Spektrum um 90 Grad rechts und links von einer Farbe abstehenden Farben nennen wollen) verbindet. In dieser Linie ist der Antheil von Roth gerade hinreichend, um sich mit dem gelben und blauen Radikale zu Weiss zu verbinden (die beiden Lateralfarben sind einander komplementär). Bei dm wird also das mit Weiss gemischte Grün ganz zu Weiss und geht sodann in Roth, das Komplement von Grün über. Bis zur Linie bo ist das Roth noch mit Weiss gemischt, oberhalb bo bis zum Punkte a besteht das Roth aus zwei rothen Bestandtheilen.

Für viele Untersuchungen wäre es wichtig, die Lage der Anfangs- und Endpunkte der Bereiche der drei Radikale, also die Punkte l und c, b und i, g und o, sowie auch die Ordinaten der Kurven, welche die Intensität oder die Masse des betreffenden Radikals darstellen, möglichst genau zu kennen. Es ist denkbar, dass diese Punkte und Kurven, sowie auch die drei Hauptpunkte a, f und k in dem Kreise, dessen Durchmesser das Verhältniss des Komplementären vertreten sollen, nicht ganz symmetrisch liegen, ja dass für jedes Auge individuelle Abweichungen vorkommen. Diese Daten können nur durch Versuche festgestellt werden: sie sind von Interesse für die Nuancirung der Farben in der Wirklichkeit; für die allgemeinen Prinzipien der Farbentheorie sind sie von geringerer Bedeutung. Nach dem unserer Hypothese zu Grunde liegenden Gesetze kann ein einzelnes Radikal nur für eine einzige

ıfache und ganz bestimmte Vibrationsgeschwindigkeit in Thäkeit gesetzt werden, während die kleinste Vermehrung oder Verminde-ıg schon die Mitthätigkeit des betreffenden benachbarten Radikals, ıngleich in entsprechend geringem Grade zur Folge hat.

Demnach müssen, wenn das Gesetz vollkommen zur Ausführung ımt, die beiden Punkte *o* und *b* in *a*, die beiden Punkte *e* und *g* in *f*, beiden Punkte *i* und *l* in *k* zusammentreffen und die erwähnten Kurmüssen den Kreis in den drei Punkten *a*, *f* und *k* berühren. Dieses ·hältniss ist in Fig. 491 dargestellt. Die Kurven des rothen, des gelben und des blauen Radikals bilden alsdann eine in sich selbst zusammenlaufende Linie, welche den Kreis in den Mittelpunkten *a*, *f* und *k* der drei Radikale berührt. Jedes einzelne Radikal umspannt (mit abnehmender Intensität) zwei Drittel des ganzen Kreises.

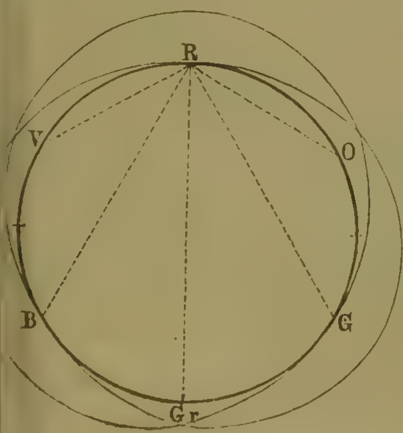
Fig. 491.



Eine Mischung von je zwei Farben, welche an den Endpunkten paralleler Sehnen wie *fk*, *dm* u.s.w. liegen, erzeugt hiernach Grün ohne Beimischung von Weiss für den Abschnitt von *h* bis zur Sehne *fk*; die beiden Mischfarben sind in die- Bereiche beide grün. Eine Mischung zu Grün aus reinem Gelb ıl reinem Blau wird nur durch die beiden Farben *f* und *k* erzeugt. ·ie die Sehne *fk* überschritten wird, stellt sich das rothe Radikal mit ; die grüne Farbe ist also mit Weiss gemischt. Bei *dm* wird die ıchung ganz weiss und oberhalb *dm* ist sie fortwährend roth mit ıiss gemischt. Reines Roth kann überhaupt nicht durch die ·chung zweier Farben entstehen.

Wir haben soeben die Veränderung der Mischfarbe betrachtet, welche ergiebt, wenn die beiden Bestandtheile sich von einem bestimmten Punkte des Spektrums gleichmässig nach beiden Seiten entfernen. Das Wesentliche dieser Veränderung besteht darin, dass eine Farbe durch Weiss in ihre Komplementärfarbe übergeht.

Fig. 492.



Denken wir uns jetzt die Mischung aus zwei Farben, von welchen die eine stets dieselbe bleibt und nur die andere vorrückt. Angenommen, die konstante Farbe sei das Roth; die beiden Bestandtheile liegen also an den Endpunkten der durch *R* gezogenen Sehnen *R O*, *R G* u. s. w. (Fig. 492). In diesem Falle erhält

man bis zur Sehne RG Orangeroth, für die Sehne RG selbst wird di Farbe Orange, jenseit dieser Sehne bis RB mischt sich Weiss in di Farbe, welche bis RGr Gelbroth bleibt, bei RGr Weiss, jenseit RG Blauroth, bei RB Violet wird; jenseit RB verschwindet das Weiss und di Farbe bleibt Violetroth.

In diesem Falle haben wir also einen Übergang von Roth durc Orange, Weiss und Violet nach Roth zurück. Ginge man von Grün aus so liefen die Farben von Grün durch Blau (mit Weiss), Weiss, Gelb (mi Weiss) nach Grün zurück.

22. Das objektive Spektrum. — Effekt der Mischung prisma tischer Farben nach dem idealen Gesetze. Die Mischung von zw Farben, welche rechts und links von einem bestimmten Punkte h an de Enden einer Sehne wie fk liegen (Fig. 491) entspricht der Zusamme führung zweier Farben, welche im gewöhnlichen Spektrum ober- und u terhalb dieses Punktes h liegen. Man kann sich überhaupt unte dem Kreise $afka$ das objektive Spektrum vorstellen. Abgeseh von der Beimischung von Weiss trägt die Mischung irgend zweier Fa ben, wie z. B. f und k die Färbung derjenigen Farbe h, welche an de Endpunkte des kürzeren Stückes des auf der Sehne fk norma stehenden Durchmessers ah liegt.

Wenn dieses Spektrum der physiologischen Wirkung der Farben a das Auge genau entspräche; so müssten die Beobachtungen von Helm holtz über die Zusammensetzung prismatischer Farben ihre Erklärun finden und umgekehrt muss man schliessen, dass wenn sich jene Tha sachen nicht daraus erklären, die Wirkung der objektiven Farben, d. h der Äthervibrationen auf den Sehnerven von dem in jenem Spektrum lie genden Gesetze abweicht, dass also das physiologische Spektrum au den Grundfarben anders zusammengesetzt ist. Eine genaue Prüfung diese Übereinstimmung ist daher für die Theorie der Farben von Wichtigkei

Helmholtz findet durch Versuche, dass das grüne Licht nicht durc die Mischung von Gelb und Blau erzeugt werden könne, dass hierz vielmehr Bestandtheile gehören, welche Grün enthalten, also ein Gelbgrü und ein Blaugrün. Gelb soll vielmehr mit Indigblau Weiss geben.

Wenn man erwägt, dass das reine Gelb und das reine Blau im Prism nur mathematische Linien einnehmen; so ist es klar, dass die Mischun dieser beiden Farben aus dem Spektrum schwierig ist. Man wird imme zwei schmale Streifen zusammenführen, welche in der Gegend von f un k liegen. Liegen diese beiden Streifen unterhalb fk; so enthalten si entschieden kein Roth, liefern also Grün ohne Weiss; die beide Mischfarben sind alsdann aber Gelbgrün und Blaugrün. Liegen di beiden Streifen oberhalb fk; so enthalten sie Roth, geben also kei reines, sondern mit Weiss gemischtes Grün; die Farben sind alsdan ein nach Violet hinüberführendes Indigblau und ein nach Orange hin ziehendes feuriges Gelb und es leuchtet ein, dass der Antheil von Grü in dieser Mischfarbe gegen das weisse Licht leicht so sehr zurücktrete kann, dass die Mischung für Weiss gehalten wird.

Hiernach würden die betreffenden Beobachtungen von Helmholt ihre Beantwortung durch unsere Theorie unter der Voraussetzung finde

den einzelnen Mischfarben bei dem Experimente die nöthige Schärfe lt hätte. Obgleich dieser Umstand eine gewisse Rolle mitgespielt haben so ist es doch nicht möglich, dass derselbe bei einem so geschickten umsichtigen Experimentator wie Helmholtz einen so erheblichen ım veranlasst hätte. Ausserdem finden die Ergebnisse von Helm- ; ihre Bestätigung in früheren Beobachtungen von Young. Es bedarf weiterer Nachforschungen über die wirkenden Ursachen, welche den ı und vielen anderen Beobachtungen von Helmholtz über das Re- der Farbenzusammensetzung zu Grunde liegen.

Zu diesem Zwecke bemerke ich zuvörderst, dass alle auf Seite 279 hysiologischen Optik von Helmholtz mitgetheilten Resultate der ung zweier prismatischen Farben mit unserer Theorie in wörtliche instimmung kommen, wenn man die von Helmholtz gebrauchten nnamen Roth, Orange, Gelb, Grüngelb, Grün, Blaugrün, Zyanblau, blau, Violet, Rosa, Purpur, Karmin nach Fig. 493 in unseren Farbenkreis

Fig. 493.



Fig. 494.



reibt (während äusserlich die rationelle Bezeichnung steht). Die einander tral gegenüberliegenden Farben sind alsdann komplementär, nämlich mit Blaugrün, Orange mit Zyanblau, Gelb mit Indigblau, Grüngelb iolet, Grün mit Purpur. Diese Verschiebung der Farbennamen darauf hinaus, dass das reine Roth wirklich Roth und das reine Blau lau, das reine Grün dagegen Blaugrün genannt und dass mit dem n Gelb eine zwischen Gelb und Orange liegende, also etwas Roth tende Farbe, mit Grün eine zwischen Gelb und Grün liegende Farbe, ndigblau eine zwischen Blau und Violet liegende, also etwas Roth tende Farbe, mit dunkel Rosa eine zwischen Blau und Violet lie- und mit Purpur eine gleichfalls zwischen Violet und Roth und zwar nen Rosa und Roth liegende Farbe belegt wird. Alsdann ist auch dass dieses Grün aus Grüngelb und Blaugrün, nicht aber aus Gelb lau gemischt werden kann, indem der in Gelb enthaltene Antheil oth eine Beimischung von Weiss, mithin ein weissliches Grün er-

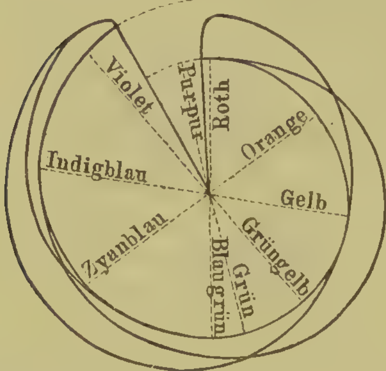
Dasselbe Resultat kann übrigens auch durch die in Fig. 494 darge- Verschiebung der Farbennamen erzielt werden. Hierbei bleibt

Orange, Gelb, Grün und Zyanblau am rechten Platze, ein etwas gelblich Roth wird Roth genannt, das reine Roth heisst Purpur, das bläuliche Ro Violet und das Violet Indigblau.

Läge nun in einer der letzten beiden Konstruktionen oder überhau in der Verschiebung der Farbennamen im Spektrum die Erkläru der Helmholtzschen Versuche; so müsste man annehmen, dass das Au das richtige Verhältniss zwischen Grund- und gesättigten Mischfarben nic zu erkennen vermöchte, oder dass der geistige Eindruck der Far mit dem materiellen Nervenprozesse nicht im Einklange stän Eine solche Annahme streitet zu sehr gegen die Harmonie und das Wes der Naturgesetze, um glaubhaft zu erscheinen. Wir fühlen uns gedrung den Grund in anderen Umständen zu suchen, welche wir im Folgend darzulegen suchen werden.

23. Das physiologische Spektrum. Wir nehmen jetzt an, physiologische Wirkung des objektiven Spektrums oder einfachen Äthervibrationen von allmählich zunehmender Geschw digkeit, also das physiologische Spektrum sei durch die Spir Fig. 495 dargestellt, d. h. die auf diese Spirale aufgetragenen Ordinaten einzlenen Grundfarben bezeichnen Intensitäten, womit die Radikale d Nervensubstanz durch die betreff den Äthervibrationen in Thätigkeit setzt werden. Ein voller Umfang v 360 Grad würde einer Oktave im jektiven Vibrationssysteme entsprech Das deutlich sichtbare Spektrum u fasst keine volle Oktave; demgem stellt der obere Ausschnitt das an ein Oktave fehlende Stück dar, in welch die ultrarothen und die ultraviolett Farben liegen. Die über die inne Spirale gelegten Linien stellen w vorhin die rothe, gelbe und blaue Grundfarbe sowohl nach ihrer La im Spektrum, als auch nach ihrer Intensität dar.

Fig. 495.



Dieses Spektrum stützt sich auf die Voraussetzung, dass die rot Grundfarbe einerseits bis nahe vor das reine Gelb, andererseits ab über das rothe Ende des Spektrums hinaus und zwar etwas über d reine Blau hinaus ragt, ferner dass die gelbe Grundfarbe einerseits nahe vor das reine Roth, andererseits aber ebenfalls etwas über d reine Blau hinaus ragt, endlich dass die blaue Grundfarbe einerse bis zum reinen Gelb und andererseits über das violette Ende d Spektrums hinaus bis nahe vor das reine Roth reicht. Bei d Überschreitung des reinen Roth nach oben sinkt dessen Intensität ras herab und wird jenseit der oberen Grenze des Spektrums verschwinde klein; sollten dabei gleichzeitig andere Grundfarben mit in Thätigk treten; so ist deren Intensitätsverhältniss zum Roth immer se klein, sodass ihr Einfluss unbedeutend ist und umso mehr übersehen wi als die Gesammtintensität äusserst gering ist. Bei der Überschr

des reinen Violet am unteren Ende des Spektrums sinkt die Gemtintensität zwar ebenfalls rasch, jedoch nicht ganz so rapide m oberen Ende und hinsichtlich des Intensitätsverhältnisses, ıkt hier das Roth rascher als das Blau, sodass die Färbung der ultraten Strahlen bläulich und vielleicht durch das Auftreten einer ıchen gelben Thätigkeit grünbläulich wird.

Diese Stellung der Bereiche der Grundfarben entspricht dem Falle, ıs Bereich der rothen Farbe aus seiner normalen Stellung nach hin (gegen das rothe Ende hin), das Bereich der gelben Farbe aus seiner normalen Stellung in entgegengesetzter Richtung, also unten hin (gegen das violette Ende hin) verschoben, das Bereich der ıen Farbe dagegen in seiner normalen Stellung beibehalten würde.

Wenn die einfachen Äthervibrationen des objektiven Strahles die ale des Sehnerven wirklich in dieser Weise in Thätigkeit setzen; so ein ganz rein blauer Eindruck nicht zu Stande kommen: die gkeit des blauen Radikals erweckt vielmehr in Folge einer gewissen ollkommenheit des Organismus stets eine schwache Mitthäit des gelben oder des rothen Radikals oder beider zugleich. Dasje-Blau, welches an der Stelle liegt, die in einem vollkommenen Orgas dem reinen Blau gebühren würde, hat einen Antheil von Gelb und diese beiden Farben setzen sich mit einem entsprechenden Antheile lau zu Weiss zusammen: es bildet sich also an jener Stelle ein mit s gemischtes Blau und dieses Blau ist das Zyanblau. Indem gegen das Violet hin das Gelb verliert, entsteht aus dem reinen und einem mässigen Antheile von Roth das Indigblau.

Während der Eindruck des reinen Blau an keiner Stelle zu Stande t, bildet sich der Eindruck des reinen Roth und des reinen Gelb bloss in einer mathematischen Linie des Spektrums, sondern auf Streifen von gewisser Breite.

n dem sichtbaren Spektrum sind alle Mischungsverhältnisse zwije zwei Grundfarben vertreten, mit Ausnahme derjenigen Verhältnisse au zu Gelb und von Blau zu Roth, in welchen Gelb oder Roth nur leine Bestandtheile ausmachen, indem diese Mischfarben mit etwas verbunden erscheinen und die Stelle des Zyanblau einnehmen, it fernerer Ausnahme aller derjenigen Mischungen von Roth und worin das Roth vorwiegt. Die letzteren fehlenden Farben gehören usschnitte zwischen dem rothen und violetten Ende an; dieselben also nicht durch einfache Ätherschwingungen oder durch homo- Licht, sondern nur durch künstliche Mischung von Roth und rzeugt werden. So entsteht durch Verbindung von Roth mit Violet urpur, und bei noch mehr vorwaltendem Roth das Karmin, von mit Indigblau das dunkle Rosa, von Roth mit Zyanblau das lliche Rosa.

er vorstehenden Unregelmässigkeit bei der Erregung des rothen, uen und des gelben Prozesses müssen wir nun noch eine zweite chmässigkeit in Beziehung auf den physiologischen Effekt jener drei se hinzufügen. Ich nehme an, dass bei gleicher objektiver Stärke auer Strahl eine geringere Intensität in der Nerventhätigrzeugt, als ein rother oder gelber Strahl, und dass ein gel-

ber Strahl eine geringere Intensität erzeugt, als ein rother, dass a bei gleicher objektiver Stärke des Strahles der rothe Prozess das N vensystem am stärksten und der blaue am schwächsten schüttert.

Diese Hypothese findet ihre Stütze an der Thatsache, dass das ro Licht das Auge am meisten, das blaue (nicht das violette) dagegen wenigsten angreift (wesshalb auch reizbare Augen durch blaue B len geschützt werden).

Die Verschiedenartigkeit der Affektion des Auges durch rothes, bes und blaues Licht und eine systematische Veränderung der Affek in dieser Reihenfolge zeigt sich auch an der besonderen Form des rot gelben und blauen Strahlensternes in §. 54 No. 11.

Um gesättigtes Grün oder Violet, d. h. diejenige Mischfarbe von I zu erzeugen, in welcher beide Bestandtheile eine gleiche physiologis Intensität äussern, muss also die objektive Intensität des Blau grö sein als die des anderen Bestandtheiles. Wenn nun eine Mischfarbe, we Blau in einem bestimmten Verhältnisse der physiologischen Wirkung entl deren Bestandtheile also durch die Verhältnisse der Ordinaten in uns Figur gemessen werden, z. B. das gesättigte Grün, in welchem I und Gelb gleiche physiologische Intensität haben, wiederum mit einer deren Farbe zu Weiss gemischt werden soll; so kömmt in der Misch welche neutrales Licht erzeugen soll, das Blau nicht bloss in sei Verhältnisse zum Gelb, sondern auch in seinem Verhältnisse zum Rot Betracht, und wir nehmen an, dass die Herstellung einer völligen Neu lität eine fernere Vergrösserung des Verhältnisses des Antheils Blau erfordert, dass also nicht das reine Roth, sondern ein mit Blau mischtes Roth komplementär zum gesättigten Grün ist.

Allgemein nehmen wir also an, dass wenn zwei Grundfar von gewisser objektiven Intensität miteinander vollkommen gemi werden, die scheinbare oder physiologische Intensität des Roth sich g Gelb und noch mehr gegen Blau verstärkt, ferner dass die des Gelb gegen Roth schwächt und gegen Blau verstärkt, endlich dass die des sich gegen Gelb und noch mehr gegen Roth schwächt und dass der G dieser Verstärkungen und Schwächungen nicht bloss von der Art, son auch von der Intensität der Mischungsbestandtheile abhängt. W drei Grundfarben gemischt werden, tritt eine Verstärkung des I gegen Gelb und Blau in einem Verhältnisse ein, welches die Summe einseitigen Verstärkungen gegen Gelb und gegen Blau bildet; das wird gegen Roth geschwächt und gegen Blau gestärkt, ändert sich nach Maassgabe der Differenz zwischen diesen beiden Wirkungen Blau wird gegen Roth und Gelb nach Maassgabe der Summe der ei tigen Schwächungen geschwächt.

Wenn man es nur auf die Art oder Farbe der entstehenden schung, nicht auf ihre scheinbare Intensität absieht, kann man als Intensität des Gelb stets konstant erhalten und die von Roth er hen und die von Blau vermindern.

Allgemein fügen wir also dem Obigen noch die Annahme hinzu, wenn irgend zwei im Umfange unseres physiologischen Kreisspek

ʒenden verschiedenen Farben miteinander gemischt werden, die Wirıg des Blau sich schwächt.

Schliesslich hat man zu beachten, dass bei der Mischung zweier Farben seres Spektrums die Intensität jeder einzelnen für sich beliebig variirt ll dadurch eine erhebliche Veränderung des Farbentones hervorgebracht rden kann. Das Resultat einer solchen Mischung kann also nicht durch Addition der eben bezeichneten reduzirten oder vergrösserten Ordinader gleichnamigen Radikale gebildet werden; man kann vielmehr die linaten jeder einzelnen Farbe noch beliebig vergrössern oder verkleim, nur ist darauf zu achten, dass wenn in einer solchen Farbe mehr ein Radikal thätig ist, die Ordinaten aller gleichzeitig thätigen Raale unter sich in demselben Verhältnisse verbleiben müssen.

Es wäre möglich, dass die Abweichung der Thätigkeit der einzelnen likale von dem idealen Gesetze aus dem Leben des Menschen im röthıgelben Sonnenlichte entspränge, da durch dieses Licht die Thäeit der einzelnen Radikale unausgesetzt in verschiedenem Grade in pruch genommen wird.

Zur weiteren Erläuterung unseres Spektrums bemerken wir nun zuıst, das die komplementären Farben sich diametral einander gegenr stehen. Die Hauptfärbung einer Mischung aus zwei Farben *a* *b* findet sich am Ende *c* des kürzeren Stückes des auf der Sehne ıormal stehenden Durchmessers *cd*: mit dieser Farbe verbindet sich ewissen Fällen ein aus den Mischungsbestandtheilen sich ergebender ıeil von Weiss.

24. Physiologische Komplementärfarben und Mischungsresul.. — Versuche von Helmholtz. Wenn die vorstehenden Annahüber die Abweichungen der Nervenwirkung von dem idealen Gesetze ichtigen sind; so müssen sich aus unserem physiologischen Spektrum Beobachtungsresultate von Helmholtz über die Farbenmischungen ben.

Was zunächst die Komplementärfarben betrifft; so sind nach m Spektrum und wenn man die beschriebene Vergrösserung der Ordides Roth und die Verkleinerung der Ordinate des Blau bei der Miıg zweier Farben, sowie die beliebige Verstärkung oder Verschwächung einzelnen der beiden zu mischenden Farben berücksichtigt, folgende en komplementär.

Roth	und	Blaugrün
Orange	„	Zyanblau
Gelb	„	Indigblau
Grüngelb	„	Violet
Grün	„	das im Spektrum nicht vorkommende, sondern aus Roth und Violet zu mischende Purpur.

Hierdurch finden sich die Beobachtungen von Helmholtz über die lementärfarben bestätigt, und es erläutert sich die Thatsache, dass keine einfache Spektralfarbe zum Komplemente hat, dass dieses lement vielmehr eine Mischung von Roth und Blau ist, welche inlb der Grenzen des sichtbaren Spektrums nicht liegt.

Mit Hülfe jenes Spektrums ist es leicht, das wahre oder physiol gische Komplement jeder beliebigen Farbe des Sonnenspektrums anz geben. Im Folgenden stellen wir für eine grössere Anzahl von Farben d objektiven und die physiologischen Komplemente zusammen.

Farbe	objektives Komplement	physiologisches Komplement
Roth	Grün	Blaugrün
Orangeroth (Zinnober)	Blaugrün	Bläulich Grün
Rothorange	Grünblau	Grünblau
Orange	Blau	Zyanblau
Gelborange	Violetblau	Indigzyanblau
Orangegelb	Blauviolet	Zyanindigblau
Gelb	Violet	Indigblau
Grüngelb	Rothviolet (Rosa)	Violet
Gelbgrün	Violetroth (Purpur)	Rothviolet (Rosa)
Grün	Roth	Violetroth (Purpur)
Blaugrün	Orangeroth (Zinnober)	Roth
Grünblau	Rothorange	Orangeroth
Zyanblau	dunkel Orange	Orange
Blau	Orange	—
Indigblau	Gelblichorange	Gelb
Violetblau	Gelborange	Grünlichgelb
Blauviolet	Orangegelb	Grünlichgelb
Violet	Gelb	Grüngelb
Rothviolet (Rosa)	Grüngelb	Gelbgrün
Violetroth (Purpur)	Gelbgrün	Grün
Violetlichroth (Karmin)	Gelblichgrün	Bläulichgrün

Ausserdem bewahrheiten sich alle in der Physiologischen Optik v Helmholtz, S. 279 mitgetheilten Mischungsresultate, bei welchen vorau gesetzt ist, dass die beiden Bestandtheile der Mischung die Intensität d betreffenden Farben im Sonnenspektrum haben. Dieselben sind mit ein gen Zusätzen in der nachstehenden Tafel (Seite 289) zusammengestel Die erste vertikale und horizontale Reihe enthält die beiden Bestandthe der Mischung und die Stelle, wo sich diese Reihen kreuzen, die Misc farbe. Die Abkürzung dk. heisst dunkel und wss. weisslich.

25. Komplementäre Pigmente. Die vorstehenden Resultate, welc unserm physiologischen Spektrum genau entsprechen, ergeben sich a der Zusammenwirkung oder Ineinanderlegung zweier objekt einfachen Wellensysteme; sie entsprechen dem Falle, wo dassel Äthertheilchen gleichzeitig von diesen beiden Erschütterungssystem direkt oder mit Hülfe einer Diffusionsfläche erregt, also auch jedes The chen der Nervensubstanz des Sehnerven durch den kombinirten Impu beider Systeme affizirt wird.

Nach den Versuchen von Helmholtz wird übrigens nahezu dassel Resultat erzielt, wenn die beiden Wellensysteme mit Hülfe eines rotire denden Kreisels zusammengesetzt werden, sodass in rascher Aufeina derfolge dasselbe Äther- und Nerventheilchen abwechselnd von den beid Systemen affizirt wird und die Verschmelzung im Sehnerven stattfindet.

	Purpur	Violet	Indigblau	Zyanblau	Blaugrün	Grün	Grüngelb	Gelb	Orange
Roth	Karmin	Purpur	dk. Rosa	wss. Rosa	Weiss	wss. Gelb	Goldgelb	Orange	Gelbroth
Orange	dk. Rosa	dk. Rosa	wss. Rosa	Weiss	wss. Gelb	wss. Gelb	Gelb	Rothgelb	
Gelb	wss. Orange	wss. Rosa	Weiss	wss. Grün	wss. Grün	Grüngelb	Grüngelb		
Grüngelb	wss. Orange	Weiss	wss. Grün	wss. Grün	Grün	Gelbgrün			
Grün	Weiss	wss. Blau	Wasserblau	Blaugrün	Blaugrün				
Blaugrün	Wasserblau	Wasserblau	Wasserblau	Wasserblau					
Zyanblau	wss. Violet	Indigblau	wss. Blau						
Indigblau	Violet	Violetblau							
Violet	Purpur								

Anders ist es jedoch, wenn sich die beiden Wellensysteme örtlich nebeneinander legen, also verschiedene Äther- und verschiedene Nerventheilchen affiziren, wie es sich bei der Mischung zweier Pigmente ereignet. In diesem Falle wirkt jedes System für sich, ohne das andere zu modifiziren und es ergiebt sich als Mischungsresultat eine Verbindung der beiden Pigmentfarben ohne Beeinträchtigung der Wirkungen der darin liegenden Grundfarben.

Die Mischung der Pigmente liefert also Ergebnisse, welche den obigen allgemeinen Gesetzen besser entsprechen, als die Ergebnisse der Verschmelzung von Lichtstrahlen. Für die Pigmente gilt der normale oder ideale Farbenkreis Fig. 491. Dieser Kreis hat mit dem Spektrum eigentlich Nichts zu schaffen: er bildet vielmehr nur eine Nebeneinanderstellung der drei Grundfarben mit ihren Übergangsstufen in Beziehung auf den physiologischen Nervenprozess, ganz unbekümmert darum, durch welche objektive Ätherthätigkeit jener Prozess und jene Farbeneindrücke hervorgerufen werden.

Durch Pigmente hat man offenbar die Mittel in der Hand, die Intensitätskurven der drei Grundfarben ganz beliebig zu gestalten, ihre Endpunkte zu verrücken und ihre Ordinaten zu variiren. Für Pigmente lassen sich also sehr verschiedene Farbenkreise bilden. Alle diese Kreise können dazu dienen, die Übergänge der Farben für den gegebenen Wechsel der Intensitätsverhältnisse der Grndfarben übersichtlich darzustellen.

Hiernach waltet kein Hinderniss ob, auch unser physiologisches Farbenspektrum (Fig. 495) als einen speziellen Farbenkreis für Pigmente zu betrachten, insofern hierdurch nur eine Reihenfolge von Übergangsfarben, welche aus den drei Grundfarben bestehen, dargestellt sein soll. Was jedoch das Resultalt der Mischung zweier solchen Pigmentfarben betrifft; so gilt für die Pigmente nicht mehr der Satz, dass bei der Mischung die Wirkung des Blau sich schwächt und die des Roth sich verstärkt. Da sich die Theilchen der Pigmente nebeneinander lagern; so behält bei der Mischung jede Grundfarbe ihren Werth, es addiren sich also einfach die Ordinaten der gleichnamigen Grundfarben. Diess hat zur Folge, dass die im physiologischen Spektrum einander diametral gegenübergestellten Farben, welche physiologisch komplementär sind, als Pigmentmischungen keine weisse oder graue, sondern eine andere Färbung annehmen, dass die Pigmentbestandtheile von Weiss also andere sind, als die physiologischen Komplementärfarben.

Hiernach muss man zwischen komplementären Farben und komplementären Farbstoffen oder Pigmenten sorgfältig unterscheiden. Die eigentliche Komplementärfarbe von A ist die Farbe B, deren Nervenprozess sich mit dem Nervenprozesse von A in demselben Nerventheilchen zu dem neutralen Prozesse des Weiss verschmilzt: das Pigment B' jedoch, welches zu A komplementär ist oder sich mit A zu Weiss (resp. Grau) verbindet, stellt die Farbe dar, welche objektiv die in A enthaltenen Grundfarben neutralisirt, eine Farbe, die in einem ganz vollkommenen Auge dem Komplemente B gleich sein würde, in dem menschlichen Auge aber einen Prozess hervorruft, welcher bei dem

ebenlagerung neben den Prozess A oder bei der Affektion nicht derlben, sondern benachbarter Nerventheilchen den Eindruck des eiss hervorbringt.

Demzufolge sind für Pigmente Roth und Grün, Gelb und Violet, au und Orange komplementär, insofern die beiden Bestandtheile in den tsprechenden Intensitätsverhältnissen gemischt werden. Für die ischung anderer Pigmente ist nun noch zu beachten, dass die natürliche tensität der einzelnen einfachen Farben, welche das Sonnenlicht bilm, für Pigmente eigentlich keine Bedeutung hat. Für die physiologschen Effekte ist diese Intensität allerdings von Wichtigkeit, weil sie Intensität des normalen weissen Lichtes bedingt (§. 20 No. 3); bei rbstoffen jedoch hat es kein grosses Interesse, eine dem Sonnenspekım ähnliche Intensitätsskale aufzustellen. Wenn aber die Intensität oder enge der beiden Mischungsbestandtheile variabel bleibt, kann die Pigntmischung jede beliebige Färbung annehmen.

Ein besonderes Interesse für die Farbentheorie bei der Mischung eier Farbstoffe hat der Fall, wo man das Mengenverhältniss der beiden standtheile so wählt, dass die Mischfarbe das Minimum von Färbung gt. Denkt man sich zwei Pigmente, welche die physiologisch kommentären Farben darstellen, in diesem Mischungsverhältnisse verıden; so liefern dieselben folgende Resultate:

Roth	und	Blaugrün	ergiebt	bläulich Grau
Orange	„	Zyanblau	„	Grau
Gelb	„	Indigblau	„	bläulich Grau
Grüngelb	„	Violet	„	bläulich Grau
Grün	„	Purpur	„	bläulich Grau.

Es ist beachtenswerth, dass die Pigmente, welche den wahren physioschen Komplementärfarben entsprechen, in geeigneter Mischung als blosestes Resultat ein bläuliches Weiss oder Grau ergeben. Nur nge und Zyanblau kann auf reines Grau gebracht werden; ein gerin- Überschuss von Zyanblau ergiebt jedoch ein bläuliches Grau. In die- Mischungsverhältnissen liegt die direkte Bestätigung der Annahme No. 24, dass bei der Vereinigung der physiologischen Nervenzesse die Thätigkeit des blauen Radikals sich schwächt, dass also en objektiven Farben, welche sich zu Weiss verbinden, eine überwielle Menge von Blau enthalten sein muss. (Der Zusatz von Zyanblau zu nge, welcher den Eindruck von Weiss erzeugen soll, muss grösser sein, lerjenige, welcher ein rein graues Mischungspigment lierfert). Übriwerden wir diese Thatsache in No. 27 bestimmter nachweisen.

26. Intensitäts- und Farbenkontraste. In Folge des allgemeinen trastgesetzes (§. 34 und 37), dessen Grund wir früher erläutert haben, nen wir an, dass die Thätigkeiten in zwei verschiedenen Fasern des Sehen einen Einfluss aufeinander ausüben, welcher im Wesentlichen darin eht, dass sich der Gegensatz zwischen diesen Thätigkeiten gert.

Zunächst wird hierdurch die Intensität beeinflusst. Der stärkere enstrom wird einem schwächeren gegenüber noch stärker und der

schwächere wird schwächer. Durch den Kontrast der beiden rothen Farben A_a und $A_{a'}$, worin $a > a'$ ist, wird also die Intensität a gesteigert und die a' vermindert, sodass wenn n und n' Zahlen > 1 sind, die Farben A_{na} und $A_{\frac{a'}{n'}}$ zur Erscheinung kommen.

Die hierin liegende Wirkung ist derjenigen zu vergleichen, welche stattfindet, wenn zwei sich bewegende Körper a und a' in entgegengesetzten Richtungen oder durch zwei Kräfte sollizitirt werden, welche entgegengesetzt wirken und demzufolge eine Resultante null haben. Durch die organische Verbindung, welche den Kontrast erzeugt, wird die Gesammtthätigkeit, welche dem äusseren Ätherimpulse oder Lichtreize entspricht, nicht vermehrt, sondern nur in ihren Theilen verändert.

Der Kontrast beeinflusst aber nicht bloss das Verhältniss zwischen den Thätigkeiten der rothen Radikale der fraglichen beiden Nervenfasern, sondern allgemein das Verhältniss zwischen den Thätigkeiten der gesammten Massen dieser beiden Fasern und zwar in folgender Weise.

Das Übergewicht von a gegen a' bewirkt in der Thätigkeit der zweiten Faser eine Verzögerung der gleichnamigen und eine Beschleunigung der entgegengesetzten Thätigkeiten. Die Thätigkeit a' des rothen Radikals in der zweiten Faser wird vermindert. Fasst man aber die Gesammtmasse dieser zweiten Faser ins Auge; so charakterisirt sich der rothe Prozess darin immer als die Bewegung gewisser Elemente neben der Ruhe der übrigen Elemente. Die Ruhe der letzteren ist einer relativen Bewegung derselben in entgegengesetzten Richtungen der ersteren Elemente gleich zu achten. Eine Verzögerung dieser ersteren Elemente entspricht daher einer Beschleunigung der letzteren. Die Bewegung der letzteren Elemente charakterisirt die grüne oder allgemeiner die Komplementärfarbe der ersteren kontrastirenden Farbe. Der Kontrast des stärkeren Roths bewirkt also, dass das schwächere Roth schwächer wird und sich mit komplementärem Grün mischt. Da dieses komplementäre Grün sich mit einem entsprechenden Antheile von dem Roth der zweiten Nervenfaser zu weissem Lichte verbindet; so ist das Resultat eine noch erheblichere Schwächung des Roths der zweiten Faser und einer Mischung desselben mit weissem Lichte, also eine Verblassung desselben (§. 37 und 41).

Übrigens erfordert die genaue Bestimmung der Kontrastfarbe die Berücksichtigung des physiologischen Komplementes und ausserdem ist zu beachten, dass bei der Verbindung zweier physiologischen Farbeneindrücke die Thätigkeit des blauen Radikals sich etwas vermindert und die des rothen sich etwas vermehrt.

27. Symbole der physiologischen Farben. Um die physiologischen Farbeneindrücke, ähnlich wie es in No. 14 für die objektiven Farben geschehen ist, durch symbolische Formeln darzustellen, muss auf experimentellem Wege festgestellt werden, welchen Thätigkeitsgrad ein jedes der drei Radikale A, B, C bei der Einwirkung der einzelnen prismatischen Strahlen entwickelt. Hieraus ergiebt sich die geometrische Konstruktion

es physiologischen Spektrums Fig. 495, d. h. die Figur der Linien, deren rdinaten die Intensitäten der drei Radikale darstellen.

Da bei gleicher objektiver Stärke das blaue Radikal am schwächen und das rothe am stärksten wirkt; so ist ferner experimentell der rad der Schwächung des ersten und der Grad der Stärkung des letzten adikals bei den Verbindungen von je zwei Radikalen zu ermitteln, wo i es sich möglicherweise ereignen kann, dass dieser Grad abhängig ist n der Art der beiden verbundenen Radikale und von dem Mischungsrhältnisse derselben. Wenn diese Ermittlung geschehen ist, kann an behuf Auftragung der Kurven, welche die Thätigkeiten des rothen, s gelben und des blauen Radikals darstellen, die Ordinaten des ersten dem Maasse vergrössern und die des letzteren in dem Maasse verkleirn, dass dieselben nun nicht mehr die objektive Stärke, sondern die ysiologische Wirkung jener Radikale darstellen. Alsdann liegt reis Orange genau an der Stelle, wo die Ordinaten von Roth und Gelb eich sind oder wo die Kurve des rothen Radikals die des gelben durchhneidet. Ebenso liegt reines Grün an der Stelle, wo die Kurven des ben und des blauen Radikals sich schneiden, und reines Violet an der lle, wo die Kurven des rothen und des blauen Radikals sich schneiden, d diese Stellen entsprechen denjenigen Strahlen des Sonnenspektrums, lche unserem Auge rein orange, resp. rein grün oder rein violet ereinen.

In der symbolischen Formel wie A_a B_b wird es nützlich sein, durch Zeiger a, b ebenfalls nicht die objektive, sondern die physiologische rke der betreffenden Radikale zu bezeichnen.

Ausserdem ist auf dem Wege des Experimentes zu ergründen, in chem Verhältnisse die physiologische Wirkung des rothen und des uen Radikals bei der Verbindung aller drei Radikale zu weissem hte sich ändert oder mit anderen Worten, es ist das Verhältniss $a:b:c$ ermitteln, in welchem sich die Bestandtheile der durch das physiologische ktrum dargestellten Farben neutralisiren, wobei es sich ereignen n, dass diese Neutralisation von dem Überschusse der in der Verbing unneutralisirt bleibenden Farben abhängig ist.

Endlich hat man die absoluten Intensitäten der physiologischen Wirgsgrössen der drei Radikale für den Fall aufzusuchen, dass das aus r Verbindung hervorgehende weisse Licht die normale Stärke habe.

Fände man, dass behuf Aufstellung des physiologischen Spektrums g. 495) die objektive Stärke des rothen und des blauen Radikals an en Stellen in demselben Verhältnisse vergrössert, resp. verinert werden müsste, um den physiologischen Eindruck durch die inatenlänge gehörig darzustellen, und erwiese sich ferner das Intensiverhältniss $a:b:c$ der drei Radikale in zwei solchen physiologischen ktralfarben, welche durch ihre Vereinigung weisses Licht ergeben, unter n Umständen als konstant, zeigte es sich z. B., dass wenn zwei durch s physiologische Spektrum dargestellten Farben vermischt werden, er solche Quantitäten des rothen, des gelben und des blauen Radikals, che sich wie 1 : 2 : 6 verhalten, einander neutralisiren, an welchen len des Spektrums man auch die beiden Farben entnähme, oder wel- r farbige Überschuss auch verbliebe; so würde sich die Operation

mit den symbolischen Formeln für die physiologischen Farben sehr einfach gestalten, weil es alsdann sehr leicht wäre, aus jeder Verbindung das darin entstehende weisse Licht abzusondern. Normal weisses Licht würde alsdann dasjenige sein, wofür man $a + b + c = 1$ hätte.

Näherungsweise ergeben sich die Effekte der Farbenmischung, wenn man der subjektiven Wirkung der Grundfarben die Verhältnisse zu Grunde legt, welche aus den Formeln der nachstehenden Tabelle hervorgehen. Die Formeln der ersten Spalte sollen durch die Zahlenindexe die objektive Stärke des betreffenden Farbenstrahles darstellen. Die Formeln der zweiten Spalte stellen die subjektiven oder scheinbaren Intensitätsverhältnisse dar.

Farbe	Objektives Mischungsverhältniss	Subjektives Mischungsverhältniss
Roth	A_1	A_1
Orange	$A_{1/3}\,B_{2/3}$	$A_{1/2}\,B_{1/2}$
Gelb	B_1	B_1
Grüngelb	$B_{1/2}\,C_{1/2}$	$B_{2/3}\,C_{1/3}$
Grün	$B_{1/3}\,C_{2/3}$	$B_{1/2}\,C_{1/2}$
Blaugrün	$B_{1/4}\,C_{3/4}$	$B_{2/5}\,C_{3/5}$
Zyanblau	$A_{1/18}\,B_{2/18}\,C_{6/18} + C_{1/2}$	$W_{1/2} + C_{1/2}$
Indigblau	$A_{1/7}\,C_{6/7}$	$A_{1/4}\,C_{3/4}$
Violet	$A_{1/5}\,C_{4/5}$	$A_{1/2}\,C_{1/2}$
Purpur	$A_{1/3}\,C_{2/3}$	$A_{3/4}\,C_{1/4}$

Nimmt man nun an, eine Mischung von Roth, Gelb und Blau, deren Strahlen die objektive Intensität von 1 : 2 : 6 haben, liefern den subjektiven Eindruck von Weiss, es sei also $A_1\,B_2\,C_6 = W_9$; so bestätigen sich die Versuche von Helmholtz über die Komplementärfarben folgendermaassen:

a. Mischung von Roth und Blaugrün

$$A_1 + 8\,B_{1/4}\,C_{3/4} = A_1\,B_2\,C_6 = W_9$$

b. Mischung von Orange und Zyanblau

$$\frac{9}{5}\,A_{1/3}\,B_{2/3} + \frac{36}{5}\,(A_{1/18}\,B_{2/18}\,C_{6/18} + C_{1/2}) = A_1\,B_2\,C_6 = W_9$$

c. Mischung von Gelb und Indigblau

$$2\,B_1 + 7\,A_{1/7}\,C_{6/7} = A_1\,B_2\,C_6 = W_9$$

d. Mischung von Grüngelb und Violet

$$4\,B_{1/2}\,C_{1/2} + 5\,A_{1/5}\,C_{4/5} = A_1\,B_2\,C_6 = W_9$$

e. Mischung von Grün und Purpur

$$6\,B_{1/3}\,C_{2/3} + 3\,A_{1/3}\,C_{2/3} = A_1\,B_2\,C_6 = W_9$$

Die Koeffizienten vor den zu mischenden Komplementärfarben geben zugleich nahezu die Intensitäten der beiden Farben an, welche

ı zu Weiss vereinigen. So erfordert Roth das 8-fache von Blaugrün, ange das $\frac{36}{5} \cdot \frac{5}{9} = 4$-fache von Zyanblau, Gelb das $3^1/_2$-fache von Indig-n, Grüngelb das $1^1/_4$-fache von Violet, Grün das $^1/_2$-fache von Purpur. Scheidelinie, auf welcher die beiden Komplementärfarben nahezu in icher Stärke gemischt werden müssen, liegt also einerseits nahe un- Grüngelb und Violet.

Die umgekehrten Werthe der letzteren Koeffizienten kann man als Maass für die relative Sättigungs- oder Neutralisationskraft betreffenden Farben ansehen. So sättigt nach unseren Formeln Roth al so stark als Blaugrün, Orange 4-mal so stark als Zyanblau, Gelb -mal so stark als Indigblau, Grüngelb $1^1/_4$-mal so stark als Violet, n $^1/_2$-mal so stark als Purpur.

Ich wiederhole übrigens, dass die vorstehenden Formeln nur ein ge-ertes Bild von den in Rede stehenden Verhältnissen liefern und dass ielle Ermittlungen zur Feststellung der Indexe erforderlich sind.

28. Die Ansichten von Brewster und Young. Unter den ichten, welche über die subjektive Farbenempfindung geäussert worden, die von Young in neuester Zeit durch Helmholtz lebhaft vertheidigt; rscheint daher unerlässlich, dieselben hier etwas näher zu besprechen.

Young macht die Annahme, dass jede Faser des Sehnerven aus drei en bestehe, von welchen jeder einzelne nur für eine einzige Grundfarbe findlich sei, sodass also jede Grundfarbe ihre besondere Nerven-ung habe. Die Gleichzeitigkeit und das Intensitätsverhältniss der Nervenprozesse bedingen dann die übrigen Farben.

Von der Theorie der Farbenempfindung verlangt man eine Be-reibung des materiellen Prozesses im Sehnerven, welcher geeig-ist, dem geistigen Farbeneindrucke als Träger zu dienen. Es ist un-slich und dient jeder dessfallsigen Hypothese zum Prüfstein, dass jener ess fähig sei, die faktischen Farbeneindrücke oder Farben-heinungen zu erklären. Zu diesen faktischen Erscheinungen gehö-die Resultate der Zusammensetzung der Farben oder vielmehr der beneindrücke. Hieraus ist klar, dass die Annahme, ob und wie die hiedenen Farben aus gewissen Grundfarben zusammengesetzt wer-können, durchaus nicht die Theorie des physiologischen Nerven-esses, sondern lediglich ein Verhältniss unter den faktischen Er-inungen betrifft. Wir haben es also mit zwei ganz verschiedenen en zu thun: einmal mit der Entzifferung der Regel, welche die Er-inungen bei der Zusammensetzung der Farben befolgen welche von der Art des Nervenprozesses ganz unabhängig ist, und nn mit dem Gesetze des physiologischen Nervenprozesses.

In Young's Theorie liegt nun einzig und allein eine Ansicht über aktische Zusammensetzung der Farben, eine Vorstellung über harakteristische des Nervenprozesses ist darin nicht im ent-esten gegeben. Jene Ansicht geht dahin, dass die Farben aus drei ndfarben oder die Farbeneindrücke aus drei Grundthätigkeiten zu-mengesetzt seien. Schon Brewster hatte den Gedanken ausgesprochen, die Farben aus drei Grundfarben zusammengesetzt seien; er hatte

sich nur in der Hinsicht getäuscht, dass er dieses Gesetz auf die objekt ven Farben, d. h. auf den Prozess des Äthers, welcher unser Auge e regt, bezog. Dass Letzteres mit der allgemeinen Theorie des Licht unverträglich ist, leuchtet ein. Nach Brewster's Annahme muss es näm lich rothes, auch gelbes, auch blaues Licht von jedem beliebige Brechungsgrade geben. Nun lehrt die Theorie des Lichtes, dass d Brechung durch die Vibrationsgeschwindigkeit bedingt ist; es müss also auch rothes Licht von jeder beliebigen Vibrationsgeschwindigke geben. An einem einfachen Lichtstrahle ist aber ausser der Amplitud wovon die Intensität abhängt, nur die Vibrationsgeschwindig keit variabel: diese Grösse allein kann also bei gleich intensiven Strahle deren objektive Verschiedenheit und demnach auch nur die Verschi denheit der Affektion des Sehnerven bedingen. Hiernach ist es u möglich, dass ein rother Strahl dieselbe Geschwindigkeit oder diesel Brechbarkeit habe wie ein gelber oder wie ein blauer, weil die Verschiede heit des Eindruckes von Roth, Gelb und Blau nothwendig eine Verschiede heit der wesentlichen Eigenschaften der Strahlen, also Verschiedenheit d Brechbarkeit voraussetzen.

Da nun die Zusammensetzung der Farben zu anderen Farben ein unleugbare Thatsache ist, der Grund aber nicht in dem objektiven Pr zesse liegen kann; so nahm Young an, die Ursache müsse im subjekt ven Prozesse liegen.

Zunächst glaubte Young die Grundfarben korrigiren zu müsse Statt Roth, Gelb und Blau nahm er Roth, Grün und Violet als diejenige Farben an, aus deren Mischung alle Farben entstehen. Ich habe schon i den vorhergehenden Nummern nachgewiesen, dass diese Veränderung a einem Irrthume beruht. Grün, Violet und Orange charakterisiren sich de Auge als Mischfarben: das Grün kann gelber und blauer werden, ohn aufzuhören Grün zu sein; das Violet kann blauer und röther, das Orang kann gelber und röther werden. Da es sich aber hier lediglich um d Erscheinung, um den Eindruck auf das Auge, nicht um irgend eine absoluten Begriff handelt; so sind Grün, Violet und Orange nicht blos nach dem Belieben eines Nomenklators, sondern in Wahrheit Mischfa ben. Roth, Gelb und Blau dagegen sind für das Auge, also in Wirklich keit einfache Farben; jede Abweichung des Roth nach Gelb gehört z den Mischfarben von Roth und Gelb, ist eine Stufe von Orange, jede Ab weichung nach Blau zu den Mischfarben von Roth und Blau ist eine Stuf von Violet.

Abgesehen von dieser unnatürlichen Unterlage der Grundfarbe ist aber auch die Ausführung des Gedankens der Farbenbildung durc Mischung unannehmbar. Nach Young (vergl. die Physiologische Opti von Helmholtz S. 291) besteht nämlich keine Farbe aus einem ein fachen Prozesse oder als einfache Farbe, sondern jede Farbe ist ein Mischung der drei Grundfarben: nur das Intensitätsverhältnis der drei Grundfarben bedingt die besondere Art der Farbe. Weis soll die Farbe sein, wo alle drei Grundfarben nahezu gleich stark vertre ten sind.

Aus dieser Ansicht muss man den Schluss ziehen, dass es gar keine reinen Farbeneindruck geben könnte, jede Farbe müsste vielmeh

en Antheil von weissem Lichte enthalten, weil sich doch in m Falle ein gewisser Antheil der drei Grundfarben zu Weiss verbin- müsste. Die Vorstellung, dass das zum Sehen von Farben bestimmte e unfähig wäre, reine Farben zu sehen, ist zu widersinnig, um auf lang rechnen zu können. Ausserdem führt jene Ansicht zu direkten ersprüchen. Sie stellt die Prozesse der Grundfarben unabhängig einander dar, muss also gestatten, dass die Intensität jeder Grund- e unabhängig steigen und fallen kann. Wenn nun die Intensität er Grundfarben auf null herabsänke; so bliebe in der Thätigkeit der en Grundfarbe ein Prozess übrig, welchem gar kein Farbenein- ck entspräche: wenn aber das Herabsinken der Intensität zweier ndfarben auf null nicht möglich wäre, wie Young anzunehmen scheint; ind die drei Grundfarben oder Grundthätigkeiten nicht unabhängig einander, und in dem unbekannten Abhängigkeitsgesetze ist der ssenschaft ein grösseres Räthsel vorgelegt, als in der Aufgabe ursprüng- lag; denn es handelt sich jetzt ausser um das Charakteristische des venprozesses für jede Grundfarbe noch um ein eigenthümliches etz, welches drei besondere Prozesse dieser Art miteinander bindet.

Aus allen diesen Gründen kann ich weder anerkennen, dass Roth, n und Violet Grundfarben oder die Elemente der Farben n, noch dass sämmtliche Farben auf Mischungen oder auf mbinationen von Prozessen beruhen.

Was nun aber endlich die Hauptsache, das Wesen eines Seh- venprozesses betrifft; so findet sich darüber in den Ansichten von ung Nichts, was man für eine Erklärung halten könnte. Denn die rweisung der Empfindlichkeit für die drei Grundfarben an drei be- dere Nervenfäden, oder wenn man sich so allgemein wie mög- ausdrücken will, an drei besondere Thätigkeiten des Seh- en, macht, wie schon erwähnt, das Problem nur verwickelter, da jetzt nicht bloss fortwährend nach dem Kerne der Sache, der Be- affenheit jeder einzelnen dieser drei Nerventhätigkeiten, sondern auch noch nach dem materiellen Grunde ihrer Verbindung Zusammenwirkung fragen muss.

Wie mir däucht, erfüllt unsere Theorie vom Chemismus der Ner- substanz die allgemeinen Bedingungen, welche man an eine Erklä- von Naturerscheinungen dieser Art zu stellen hat. Ich mache noch uf aufmerksam, dass nach dieser Ansicht jedes Molekül der Ner- ubstanz fähig ist, jeden beliebigen Farbeneindruck aufzu- nen und fortzupflanzen, dass auch der Nervenprozess für alle Far- in seinen Grundeigenschaften gleich ist und dass das Wesen der ammensetzung oder Mischung von Farben nur in einer ab- kten Detaillirung der verschiedenen Eigenschaften eines solchen esses, nicht aber in einer Verbindung oder in einem Nebeneinander- unabhängiger Thätigkeiten beruht, dass mithin jede Farbe, mag objektiv oder nach dem Nervenprozesse noch so komplizirt sein, eiste doch nur einen einfachen oder einheitlichen Eindruck nen kann.

29. Die Bewegung des Äthers als der primitive Grund d Qualitätsprozesses im Sehnerven. Nach §. 2 No. 1 nehmen wir an, da jeder physische Körper oder Stoff eine Verbindung von Äther m Ponderabelem sei, dass aller Äther und alles Ponderabele unter si gleichartig sei und dass die chemische Ungleichartigkeit der ve schiedenen Stoffe auf der Verschiedenheit des Quantitätsverhältniss beruht, nach welchem Äther mit Ponderabelem in den Molekülen verbu den ist.

Die Gesetze, nach welchen gleichartige Körper, also z. B. rein Äther oder reines Ponderabele oder überhaupt gleichartige Stoffe, w Eisen, Salz, Wasser, Luft u. s. w. aufeinander einwirken, nennen wir m chanische Kräfte oder schlechthin Kräfte. Die Beziehungen, na welchen verschiedenartige Stoffe aufeinander wirken und auf welc nach unserem Dafürhalten der Name Gesetze nicht passt, nennen w im Allgemeinen Neigungen. Beruht nun die Verschiedenartigkeit a dem quantitativen Mischungsverhältnisse von Äther und Ponderabele haben wir es also mit chemisch verschiedenen Körpern zu thun; tragen jene Neigungen den Namen Affinität.

Es giebt aber noch einen zweiten, von vorstehendem ganz versch denen Grund der Ungleichartigkeit. Die Verbindung von Äther un Ponderabelem zu einem Moleküle kann durchaus nicht als eine einfac oder homogene, d. h. nicht als eine solche angesehen werden, wobei d Art der Verbindung, also das Formelle der Verbindung gleichgült sei. Die Art der Verbindung einer bestimmten Quantität Äther mit ein bestimmten Quantität Ponderabelem kann auf sehr verschiedene Wei stattfinden. Diese Verschiedenheit kann die räumliche Anordnung, d relative Dichtigkeit, den Bewegungszustand und manches Andere betre fen. Ändert sich in einem solchen Moleküle nicht das Quantitätsve hältniss, sondern nur die Art oder das Formelle der Verbindun des Äthers mit dem Ponderabelen; so bleibt dasselbe zwar dersel chemische Körper, d. h. es behält dieselben chemischen Eigenschaft oder Affinitäten; aber es ändern sich dessenungeachtet seine übrigen Qu litäten. Wir haben die allgemeine Neigung, welche zwischen Äther un Ponderabelem besteht, Kosmetismus genannt. Da aus dieser Neigun unmittelbar die Verbindungen von Äther mit Ponderabelem und insbeso dere die besonderen Verbindungsweisen entspringen; so wollen w die auf dieser Verbindungsweise beruhenden Eigenschaften die ko metischen Eigenschaften des betreffenden Stoffes nennen. Auf der Ve änderung der kosmetischen, nicht der chemischen Eigenschaften beru z. B. der Polymorphismus derselben chemischen Stoffe.

Es leuchtet ein, dass wenn ein Körper so erschüttert wird, dass zw schen dem Äther und dem Ponderabelen seiner Moleküle relative Be wegungen eintreten, in Folge dessen sich die relativen örtlichen Ve hältnisse jener beiden Grundstoffe ändern, sich unmittelbar oder zunäch seine kosmetischen Eigenschaften ändern werden. Eine solche relati Bewegung entsteht durch mechanische Erschütterung nur in schwache Maasse, in einem namhaften Grade aber durch die unmittelbare E schütterung des Äthers in den Molekülen, also insbesondere durc den Lichtstrahl.

Wenn wir im Vorstehenden die kosmetischen Eigenschaften von den ischen prinzipiell ganz trennen und zugleich annehmen, dass die dieser Eigenschaften die andere nicht in ihrem Grundwesen oder rer Art ändert, dass also z. B. Eisen immer Eisen im chemischen bleibt, gleichviel ob seine kosmetische Beschaffenheit geändert wird nicht; so folgt doch hieraus nicht, dass eine Veränderung der einen Eigenschaften ohne allen Einfluss auf die andere bliebe. Im ntheil, wenn sich irgend eine Eigenschaft eines Körpers, sei es eine etische, eine chemische oder eine mechanische ändert, werden die en Eigenschaften zwar nicht in ihrem spezifischen oder Grundwesen, aber in ihrem Grade, also quantitativ geändert. So wird das ., wenn seine kosmetische Eigenschaft eine Änderung erleidet, den l seiner mechanischen Kohäsion und die Intensität seiner nischen Neigungen ändern. Dadurch nun, dass sich die Inten- der chemischen Neigung eines Körpers A zu anderen Körpern B, in verschiedenem Grade ändert, ändert sich in gewisser Hinsicht seine chemische Qualität und es kann sich ereignen, dass er sich wenn ihm die Wahl der Verbindung mit B und C frei steht, mit rbindet und von C trennt, während er vorher sich mit C verband von B trennte.

In dieser Weise wird also ein Körper bei der Erschütterung durch Lichtstrahl direkt seine kosmetischen Eigenschaften än- und Diess wird zur Folge haben, dass er sich auch in chemischer cht gegen gegebene Körper anders verhält, dass also seine chemi- Verbindungen mit diesen Körpern eine andere Qualität zeigen.

Der in den vorstehenden Nummern betrachtete chemische Prozess ehnerven, nämlich der Wechsel der Neigungen der Radikale zu den chemisch verbundenen Radikalen oder die wechselnde Ten- zum chemischen Stoffwechsel, worauf die Empfindung der be beruht, entspringt also zunächst aus der Veränderung der kos- ischen Eigenschaften der Radikale und diese Veränderung ist das telbare Resultat der Vibration des Äthers in jenen Radikalen. Als itiven Grund der Farben-, wie überhaupt der Lichtempfin- g muss man daher immer die Bewegung des Äthers in der ensubstanz ansehen.

Diese Bewegung des Äthers in jedem Radikale ist eine Vibration, lge deren die relative Lage der Theilchen des Äthers zu denen des erabelen sich alternirend ändert. Die Schwingungsrichtung thertheilchen steht meines Erachtens, wie im physikalischen Licht- sse, normal auf der Fortpflanzungsrichtung, also nor- zur Richtung der Nervenfaser. Der Äther jedes Radikals llet sich also in Transversalschwingungen; indem hierdurch ormelle Verbindung mit dem Ponderabelen desselben Radikals geän- wird, ändert sich die kosmetische Eigenschaft dieses Radikals und ch die Intensität seiner chemischen Affinität zu den mit ihm ver- enen Radikalen. Aus der letzteren Intensitätsveränderung entspringt endenz der Radikale der in der Längenrichtung des Sehnerven ander gereihten Moleküle, sich gegeneinander auszutauschen oder die enz zum Stoffwechsel, welche eine chemische Longitudinal-

vibration darstellt und die physiologische Grundlage des Farbe eindruckes bildet.

30. Eigenschaft des Nervenprozesses, auf welcher die kenntniss der Entfernung beruht. Die Affektion, welche ein Stäbc der Netzhaut durch die Vibrationen eines elementaren Lichtstra erleidet, besteht in einem parallel zur Axe des Stäbchens fortschreiten Wellensysteme. Die Schwingungsrichtung steht normal zu di Axe. Beim Eintritte in die Nervenfaser ruft dieser Schwingungszust des Äthers vermöge der chemischen Zusammensetzung der optischen N vensubstanz eine chemische Vibration hervor. Die Vibrationsricht dieses Qualitätsprozesses nehmen wir parallel zur Richtung der N venfaser an: die Schwingungsrichtung des Äthers, welche der primi Grund dieses Qualitätsprozesses ist, bleibt jedoch normal zur Richt der Faser.

Wenn nun das am Anfange dieser Nervenleitung liegende Stäbc nicht von einem elementaren Lichtstrahle oder überhaupt nicht einem Bündel unter sich paralleler Strahlen, sondern von einem nischen Strahlenbündel getroffen wird; so entsteht darin ein schütterungssystem, welches ausser der eben besprochenen axialen K ponente normale Seitenkomponenten hat, die nach allen Richtun radial um die Axe des Stäbchens Affektionen erzeugen. Man muss nehmen, dass diese Seitenaffektionen sich ebenfalls durch die Zwisch organe bis zu der Nervenfaser fortpflanzen und dem nach dem Gehi führenden Nervenstrome eine gewisse Eigenthümlichkeit verleihen. Grundwesen dieser Eigenthümlichkeit ergiebt sich aus folgender trachtung.

Jede der eben bezeichneten Seitenkomponenten stellt einen Li strahl dar, welcher sich parallel zur Netzhaut oder normal zum Stäbc fortzupflanzen strebt. Die Schwingungsrichtung des Äthers ist a für alle diese Komponenten, so verschieden auch ihre Richtungen ri um die Axe des Stäbchens sei, parallel zu dessen Axe, da nach § No. 15 die auf die Netzhaut treffenden Strahlen vermöge des Durchgan durch die brechenden Medien polarisirt sind, sodass ihre intensiv Schwingungen in den durch sie und die Augenaxe geführten Ebenen gen: in jedem Falle bildet sich aus allen Affektionen dieser Kompone eine mittlere Affektion parallel zur Axe des Stäbchens.

Diese Vibrationen, welche der Äther in paralleler Richtung zur A des Stäbchens annimmt, pflanzen sich auch in die Nervenfaser fort u bewirken, dass der einem jeden Radikale angehörige Äther neben den der vorstehenden Nummer besprochenen Schwingungen, welche norm zur Richtung der Faser stehen, auch noch solche annimmt, welche dies Richtung parallel sind.

Aus den letzteren Vibrationen des Äthers kann nun zwar kein Lich oder Farbeneindruck entstehen, weil der dazu erforderliche chemisc Prozess sich normal zur Schwingungsrichtung des Äthers, also norm zum Sehnerven fortsetzen müsste, was ohne allen physiologischen Effe bleiben würde, weil diese Richtung nicht zum Gehirne führt und es übe haupt an allen übrigen Bedingungen eines Nervenprozesses in dieser Ric

fehlt: allein jene Vibrationen können auch wiederum nicht ohne ›logische Wirkung bleiben, da sie die Beziehungen des Äthers zum ›rabelen ändern und diese Änderungen bis ins Gehirn fortpflanzen.)a nun durch diese Änderungen aus vorstehendem Grunde keine als n oder Wechselprozess sich äussernde Thätigkeit erzeugt werden so kömmt nur noch das Verhältniss in Betracht, welches jene :itudinalschwingungen des Äthers zu den Transversalschwin- ›en des Äthers in demselben Radikale stiften, ein Verhältniss, wel- :einen Prozess, keinen Wechsel, sondern einen gleichförmig fort- ıden Zustand darstellt. Dieses Verhältniss, welches zugleich das ltniss der in §. 16 No. 7 beschriebenen Seitenkomponente des enkegels zu dessen axialer Komponente ist, ist aber nach der dor- Ausführung die unmittelbare Grundlage für die Erkenntniss der ›rnung des leuchtenden Punktes.

Iierdurch sind wir zu dem wichtigen Resultate gelangt, dass nicht die Qualität des Lichtes (die Farbe) und die Intensität, son- auch die räumliche Entfernung des leuchtenden Punktes den ıprozess so beeinflusst, dass derselbe bis zum Eintritte in das ·n die charakteristischen Merkmale davon trägt.

Vir machen ferner darauf aufmerksam, dass weil die oben genannten :itudinalschwingungen des Äthers, welche die in §. 16 be- ›ene Seitenkomponente darstellen und der Entfernung des ›ndes Punktes proportional sind, in der Richtung des Stäb- oder in der Fortpflanzungsrichtung des Nervenstromes liegen, die ıntniss der Entfernung in der That auf einer Affektion beruht, entscheidende Kraftäusserung in der Richtung des Stäbchens Der letztere Umstand ist in der Hinsicht wichtig, weil daraus klar warum wir die Entfernung des Objektes auf die Richtung des ırten Stäbchens übertragen oder das Objekt in der Richtung s Stäbchens erblicken.

§. 66.

ıchbilder. — Blendung. — Abklingen der Farben.

Venn das Auge von einem starken Lichteindrucke getroffen wird, :t sich die Wirkung desselben noch eine geraume Zeit mit mehr eniger Intensität fort, selbst wenn der äussere Impuls dazu auf- hat: es entstehen die sogenannten Nachbilder und wir nennen uge in diesem Zustande mehr oder weniger geblendet. Diese lder sind für die Theorie des Auges bestimmt von der grössten gkeit; man findet dieselben aber in den bezüglichen Werken nur ıu und unvollständig beschrieben und noch ungenügender erklärt. rde mir erlauben, zunächst eine Beschreibung meiner eigenen Wahr- ngen zu geben.

ei den Nachbildern spielen alle optischen Eigenschaften eine Rolle: tensität, die Farbe, die Form, die Grösse, die Dauer u. s. w.

Eine jede dieser Eigenschaften zeigt eigenthümliche Erscheinungen: fa man jedoch, um die Beschreibung nicht durch Übereinanderhäufung Thatsachen zu verwirren, erst den allgemeinen Charakter der Erschein gen ins Auge; so betrifft derselbe die Helligkeit und liefert folgen Gesetz.

1. Dunkles Nachbild eines hellen Objektes. Wenn ein s heller Gegenstand, z. B. die Sonne oder eine Flamme, sein Bild ins A geworfen oder wenn man einen mässig hellen Gegenstand sehr scharf, sonders aus nächster Nähe, z. B. einen erleuchteten weissen Fleck dunklem Grunde fixirt hat; so lässt derselbe einen Eindruck im Auge rück, welcher darin besteht, dass wenn man das Auge schliesst o wenn man dasselbe auf eine dunkle Fläche richtet, ein helles Nach von der Form des Objektes entsteht, dass dagegen, wenn man das A auf eine helle Fläche richtet, ein dunkles Nachbild sich erzeugt. Nachbild verschwindet allmählich und haftet umso länger, je intensi der Eindruck war.

In Folge dieser Ursache erscheint uns die Sonnenscheibe, wenn dieselbe in der Morgenzeit mit Anstrengung zu fixiren suchen, bald a fallend dunkel: ihr Glanz hat bereits das Auge geblendet, während umgebende Lichtschein diese Wirkung noch nicht gethan hat. Allmäh verfinstert sich die Sonne förmlich und dann auch der sie umgebe Lichtschein. Ein Blick in dunklen Schatten ruft aber sofort ein he Sonnenbild hervor.

Durch Vorstehendes ist die Erscheinung nur in ihrer äussersten gemeinheit dargestellt. Wir ergänzen dieselbe nun allmählich durch charakteristischen Nebenerscheinungen.

Der Kürze wegen wollen wir die Fläche, auf welche man das blendete Auge richtet, die Projektionsfläche des Nachbildes nenn

2. Unempfindlichkeit der geblendeten Stelle. Zunächst bem ken wir, dass das stark affizirte Auge mit derjenigen Stelle, wo Netzhautbild lag, undeutlich sieht oder geblendet ist. Lenkt m den Blick auf irgend einen Gegenstand; so empfindet man das Unv mögen, die Form dieses Gegenstandes scharf zu sehen: bei starker Bl dung sieht man gar nicht. Übrigens herrscht diese Abgestumpft nur auf der geblendeten Stelle der Netzhaut: richtet man das Auge et seitwärts; so erscheint der letztere Gegenstand ganz deutlich.

Man kann auch bewirken, dass die Blendstelle nicht gerade in d Bezirk des deutlichen Sehens oder in die Augenaxe fällt. Blickt man d blendende Objekt nicht direkt an; so wird eine seitwärts von der Aug axe liegende Stelle geblendet. Alsdann kann man jeden fixirten Geg stand deutlich sehen: undeutlich erscheint jetzt nur derjenige Gegensta welcher sein Bild seitwärts von der Augenaxe auf die geblendete Ste wirft.

3. Farbe des Nachbildes auf schwarzer und auf weiss Fläche. Die Farbe des blendenden Objektes bringt eine besond Wirkung hervor, welche im Wesentlichen im Folgenden besteht.

Schliesst man das geblendete Auge oder richtet man dasselbe auf schwarze, d. h. gar kein Licht ausstrahlende Fläche; so erscheint Nachbild nahezu in der Farbe des blendenden Objektes. Richtet das Auge auf eine weisse Fläche; so erscheint das Nachbild nahezu r Komplementärfarbe des blendenden Objektes, also grünlich, dieses Objekt roth ist.

4. **Farbe des Nachbildes auf gleichfarbiger Fläche.** Richtet las Auge auf eine Fläche von derselben Farbe und Intensität wie lendende Objekt; so erscheint das Nachbild grau oder als schwärzer Schatten. Die Dunkelheit dieses Schattens nimmt zu, je heller äche ist, und sie vermindert sich, je weniger intensiv die Fläche t ist; ja auf einer ganz matten Fläche von derselben Farbe wird Nachbild sogar hell und es giebt einen Grad von Helligkeit der e, wo das Nachbild von der Fläche selbst kaum zu unterscheiist.

5. **Farbe des Nachbildes auf beliebig gefärbter Fläche.** Hat rojektionsfläche des Nachbildes irgend eine beliebige Farbe; so t das Nachbild etwa diejenige Farbe an, welche, wenn sie mit der des blendenden Objektes gemischt wird, die Farbe der Fläche er-, welche also der Farbe des Objektes in Beziehung zur Farbe der e komplementär ist.

Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Farbe des Objektes in der Farbe läche enthalten sei. Im Allgemeinen ist Diess aber keineswegs all. Allgemein hat die Farbe des Objektes mit der Farbe der Fläche gewisse Töne und zwar in verschiedenem Intensitätse, andere Töne aber gar nicht gemein. Diess hat zur Folge, dass arbe des Nachbildes unter solchen Umständen mannichfaltig variirt. spezielllere Erläuterung der Farbe des Nachbildes behalten wir uns m nächsten Paragraphen vor.

6. **Relative Verhältnisse zwischen der Helligkeit des Objektes der Projektionsfläche.** Hat die Projektionsfläche eine sehr beende Lichtintensität und ist das Auge nicht allzu stark get; so überwältigt der Lichteindruck dieser Fläche bis zu einem sen Grade die dem Nachbilde sonst zukommende Wirkung.

Die günstigste Wirkung, das normalste Nachbild kömmt zu Stande, das Auge nicht zu sehr geblendet und die Intensität der Projekfläche, insofern sie überhaupt eine hellere Fläche darstellen soll, zu stark, aber auch nicht zu schwach ist.

In allen Fällen wird übrigens unter einer hellen resp. dunklen ktionsfläche keine absolut helle resp. dunkle oder eine nach gelichen Verhältnissen hell oder dunkel zu nennende, sondern eine verstanden, welche im Vergleich zu dem blendenden Obe oder vielmehr im Vergleich zu dem Lichteffekte des Gesfeldes, in welchem das blendende Objekt liegt, hell, resp. dunt.

Demnach kann weisses Papier bald als helle, bald als dunkle Projek-

tionsfläche wirken, jenachdem das blendende Objekt weniger stark od stärker erleuchtet war. Ist das Auge durch den Blick auf die Sonne blauer Luft geblendet; so ist eine helle Projektionsfläche nur durch weiss Papier zu bilden, welches von der Sonne selbst beschienen wird. Unb schienenes weisses Papier wirkt alsdann schon wie eine dunkle Fläche.

7. **Einfluss fremden Lichtes.** Bei dem Studium der Farbe d Nachbilder ist es von besonderer Wichtigkeit, die *wahre Farbe* u *Intensität* des blendenden *Objektes* und der *Projektionsfläc* sowohl an sich, als auch im Vergleich zueinander und unter verschieden Umständen richtig zu beurtheilen. Diess ist nicht so leicht, als man vi leicht glaubt.

Bei dem Objekte und der Projektionsfläche kömmt in hohem Gra das Licht mit in Betracht, welches von umgebenden Körpern darauf ge worfen und alsdann reflektirt oder diffundirt wird. Namentlich spielt di reflektirte Sonnen- oder Lampenlicht eine erhebliche Rolle.

Ein Objekt, welches in reflektirtem Lichte *glänzt*, sendet von de *Reflexstellen* nicht sein eigenes, sondern fast allein das geborg Licht aus.

Blickt man durch ein gefärbtes Glas in die Sonne; so bedingt d Farbe des Glases allerdings die Farbe, welche die Blendung hervorbring allein nicht ausschliesslich. Durch ein solches Glas dringen bald meh bald weniger von den übrigen Farben des Sonnenstrahles, und zuweile überwiegt das durchdringende weisse Licht die Farbe des Glases, soda die Blendung fast wie vom Sonnenlichte herrührend erscheint.

Vorstehende Beispiele betreffen die Farbe des blendenden *Objekte* Was die *Projektionsfläche* betrifft; so sieht z. B. das von der Sonn stark geblendete Auge, wenn dasselbe bei Tage auf weisses Papier blick vielleicht nur einen schwachen dunklen Fleck, auf glänzendem Porzella dagegen einen röthlichen Fleck: am Abend aber (die Blendung hält o Tage und Wochen lang an) erscheint eine Gasflamme rosenroth, und jede Reflexpunkt auf einem blanken Gegenstande ist röthlich, auf einem weisse Gegenstande sowohl, wie auf einem metallenen, während der nicht reflek tirende Theil eines solchen Gegenstandes keine erhebliche Wirkung her vorbringt.

Selbst unter ganz gewöhnlichen Umständen kann man sich über di Grösse des Antheils, welchen das reflektirte Sonnen- oder Lampenlicht a der Erscheinung nimmt, erheblich täuschen. Dieser Antheil ist meisten viel grösser als man meint. Die Täuschung beruht darauf, dass das re flektirte Licht der Sonne oder der Lampe, welche den Raum um uns er hellt, nahezu *weiss* oder wenn man will *farblos* ist. Ein jeder noch so kleine *farbige Zusatz* zu einem noch so intensiven Sonnenlichte, is *wahrnehmbar*, d. h. er ertheilt dem Lichte die *Färbung* jenes Zu satzes. So sehen wir in der That einen sehr schwach roth gefärbten Kör per trotz der intensivsten Beleuchtung immer roth, und der Blick durc ein sehr schwach roth gefärbtes, dünnes Glas lässt die hellste Gegen röthlich erscheinen. Gleichwohl bleibt die Intensität dieser Färbung in Vergleich zu der Intensität des Sonnenlichtes, welches im ersteren Fall von dem röthlichen Körper reflektirt oder diffundirt wird und im letzte

Falle durch das röthliche Glas dringt, sehr gering. Die Geringigkeit einer solchen Färbung tritt aber sogleich hervor, wenn das in ...ge stehende Sonnen- oder Lampenlicht in seine farbigen Bestand...ile zerlegt wird. Gegen denjenigen dieser Bestandtheile, welcher die...e Farbe hat, verschwindet alsdann die gedachte Färbung oder wird wirkungslos, sodass die Erscheinung vorzugsweise nicht durch die ...tbare Färbung des fraglichen Körpers, sondern durch die kaum wahr...mbare Helligkeit des reflektirten oder diffundirten Lichtes bedingt ist.

8. Einfluss der Umgebung. Auf das Nachbild wirkt nicht bloss Farbe und Intensität derjenigen nächsten Projektionsfläche ein, auf ...cher das Nachbild unmittelbar liegt, sondern das ganze Gesichts...d oder das Licht in seiner Totalität, welches in das Auge ...ngt und die Netzhaut affizirt.

Wenn z. B. ein Nachbild auf einer gegebenen Projektionsfläche ent...iden ist; so ändert sich dasselbe, sowie das gesammte Gesichtsfeld eine ...ere Helligkeit erhält, wennauch jene Projektionsfläche durchaus die...e Farbe und Helligkeit behält, also z. B. in dem Augenblicke, wo ... bei sonst gleich bleibender äusserer Erleuchtung die Projektions...he, welche man bis dahin mit freiem Auge angesehen hatte, durch ...hohle Hand anblickt oder umgekehrt verfährt.

9. Nachbilder im geschlossenen Auge. Die vorstehende Bemer...g erlangt eine besondere Wichtigkeit bei der Beobachtung der Nach...er mit geschlossenem Auge.

Durch die Augenlider dringt sehr viel Licht ins Auge. Das Schliessen ...selben erzeugt also keineswegs den Zustand absoluter Dunkelheit. Be...t man die geschlossenen Augen mit den Händen; so wird es viel ...kler; das Nachbild ändert sich sofort: gleichwohl entspricht auch die... Zustand noch nicht der absoluten Dunkelheit; denn auch durch die ...de, besonders bei hellem Sonnenscheine, dringt Licht.

In Beziehung auf die Durchlässigkeit der Augenlider war ich ...aunt, zu bemerken, dass man mit geschlossenen Augen sehr gut ...Stande ist, die Farbe eines davor gehaltenen Bogens Papier ...rkennen. Der Eindruck, welchen ein solches farbiges Objekt macht, ... durch das Medium der Augenlider nur wenig von dem wahren ent...t, und zwar besteht die geringe Ablenkung in Folgendem.

Eine ganz schwarze Fläche hält man bei geschlossenen Augen...rn anfangs für röthlich, und überhaupt ist der Lichtschein, welchen ... bei geschlossenen Augen empfindet, wenn sich kein Gegenstand un...elbar davor befindet und die Umgebung hell ist, entschieden röth...i. Ohne Frage stammt diese Wirkung von der Röthe des Blutes ...en Augenlidern.

Je stärker man die Augen bedeckt und besonders in völliger Fin...iss, desto mehr verliert sich dieser röthliche Schein. Es tritt aber ...als das Gefühl absoluter Dunkelheit ein. Das Auge erscheint immer ...s erhellt. Die Farbe dieses Lichtes ist gelblich wie das Licht ...Druckfiguren (§. 61). Es ist ein beweglicher Lichtflimmer, ...hen man im Auge fühlt. Derselbe entspringt meines Erachtens aus

der vitalen Thätigkeit, welche in der Ader- und Netzhaut stattfindet un welche mit unaufhörlichen mechanischen und Ätherschwingungen verbun den ist. Dieser Zustand steigert sich unter Umständen zu einer unge wöhnlichen Höhe, was bald direkt von den Nerven, z. B. bei Gemüth aufregungen, bald direkt vom Blutandrange, z. B. in gebückter Ste lung, bald von Beiden zugleich herrührt.

Hieraus folgt, dass bei der Beobachtung mit geschlossenen Augen au zwei Lichteffekte gehörig Rücksicht genommen werden muss: erstens au den Effekt des rothen Blutes in den Augenlidern, welcher nur dann vo Erheblichkeit ist, wenn die äussere Umgebung hell ist und in di sem Falle röthliches Licht erzeugt; zweitens auf den Effekt der Leben thätigkeit der Netz- und Aderhaut, welcher zu allen Zeiten stattfind und gelbliches Licht erzeugt.

Die Erscheinung vor geschlossenen Augen unterscheidet sich hierna auch sehr von der Erscheinung beim Blicke auf eine schwarze Fläch Im letzteren Falle spielt das Licht, welches vom ganzen Gesichtsfelde h ins Auge dringt, eine grosse Rolle. Ausserdem ist das reflektirte Lich der schwarzen Projektionsfläche von Bedeutung: eine blanke Fläch dieser Art wirkt also anders, als eine matte.

Anmerkung. Die Wahrnehmung, dass man mit geschlossene Augen Farben unterscheiden kann, dass also das Licht, dies feine Agens, die dicken Augenlider durchdringt, ohne seine spez fischen Eigenschaften zu verlieren, verbunden mit der Thatsache d chemischen Wirkung des Lichtes im unorganischen und noch meh im organischen Naturreiche, nöthigt uns unwillkürlich den Gedanken a dass der Einfluss, welchen das Klima und überhaupt die dauernd Umgebung in Beziehung auf Licht, Wärme, Luft, Feuchtigkeit u. s. w auf den menschlichen Körper hat, doch wohl viel stärker ist, als ma gewöhnlich glauben mag, sodass hierdurch nicht bloss die Hautfarb der verschiedenen Menschenracen, sondern manche anderen Eigenthüm lichkeiten ihrer Körperbildung und demzufolge auch ihres geistigen N turells bedingt sind.

10. Veränderungen des Nachbildes. — Abklingen. Wenn nu nach den vorstehenden Bemerkungen die richtige Beurtheilung der wirk samen Farbe und Helligkeit sowohl Seitens des blendenden Objek tes, als auch Seitens der Projektionsfläche eine sehr grosse Aufmerksamke erfordert und oft zu Irrungen führt, welche die Meinung erwecken, da die Farbe des Nachbildes unter gleichen Umständen nicht immer dieselb sei; so wird die Einsicht in diese Erscheinungen noch durch folgend Umstände erschwert.

Einmal wechselt das Nachbild, selbst wenn das Auge fortwähren in denselben Verhältnissen erhalten wird, allmählich die Farb diese Erscheinung nennt man das Abklingen der Farben. Ausserde verwandelt sich die Farbe plötzlich bei jeder Veränderung des auf d Netzhaut fallenden Lichtes, sei das Auge geöffnet oder geschlossen. Auc die Farbe, womit das Nachbild zuerst erscheint, ist unter scheinba gleichen Umständen nicht immer dieselbe: sie hängt bald mehr, bald we niger von der Helligkeit des blendenden Objektes, von der Dauer de

xation desselben, von der Reizbarkeit oder Abgestumpftheit des Auges
Endlich aber ist das Nachbild eines einfarbigen Objektes keineswegs
ıfarbig, sondern besteht aus mehreren Rändern und umgebenden
heinen verschiedener Farben, von welchen bald der eine, bald
· andere Streifen sich breiter entwickelt und die vorwiegende Farbe be-
mmt. Endlich ist das Nachbild auch noch in anderer Weise beweglich
ıl variabel, bald mehr, bald weniger deutlich, verschwindet und taucht
oder auf und wird durch jede Funktion irgend eines Theiles des Auges,
B. durch die Bewegung, die Akkommodation, die Spannung des Auges,
iizirt.

Im Nachstehenden werde ich versuchen, die Einzelheiten dieser Er-
eeinungen näher zu beschreiben.

**11. Abklingen des Nachbildes unter bestimmten Verhält-
ssen.** Wenn das blendende Objekt keine übermässige Helligkeit
, wenn dasselbe z. B. aus einer hell erleuchteten, also stark diffundiren-
matten Fläche oder aus einer Kerzenflamme oder aus den erhellten
chen eines durch baumwollene Rouleaux verhängten Fensters, auf
ches die Sonne scheint, besteht; so ist das Nachbild ziemlich einfar-
, d. h. in seinen einzelnen Theilen, welche den einfarbigen Partien
Objektes entsprechen.

Das gemässigte Sonnenlicht, also z. B. die erleuchteten Scheiben
es verhängten Fensters, erscheinen mir im Nachbilde bei geschlossenem
. verdecktem Auge anfangs roth, während die im Schatten liegenden
eile, wie das Fensterkreuz, welche keine Blendung verursacht haben,
schwarzes Nachbild geben. Die rothe Farbe der ersteren Flächen
gert sich allmählich zu einer grossen Lebhaftigkeit. Nachdem sie das
ximum der Intensität, welches oft ein wahres Leuchten ist, erreicht
, sinkt sie herab, erlischt endlich ganz, verwandelt sich also in eine
warze Fläche. Gleichzeitig, wo die rothen Scheiben schwarz
den, erhellt und röthet sich das vorher schwarze Fenster-
uz, jedoch nur in schwachem Maasse. Nachdem die Röthung des
sterkreuzes und die Verdunklung der Scheiben ihre Kulmination er-
ıt haben, sinken beide wieder herab: das Kreuz verdunkelt sich wie-
und die Scheiben erhellen sich: die letzteren werden jetzt aber nicht
, sondern grün, steigern ihre Intensität auf ein gewisses Maass und
nnen alsdann zu verblassen. Wenn jetzt keine besondere Störung oder
ung des Auges eintritt, erlischt das Nachbild immer mehr und mehr,
e wieder aufzutauchen. Gleichwohl hat die Blendung noch nicht auf-
ört. Sobald man nur die das Auge verdeckende Hand herabnimmt,
ht das Nachbild wieder auf, und zwar in der Weise, dass die Umge-
g von dem durch die Augenlider eindringenden Lichte blutroth, das
hbild aber schwarz erscheint. Bedeckt man dann wieder das Auge;
wird die Umgebung dunkel und das Nachbild hell.

Öffnet man das Auge in jenem Stadium ganz; so wird das Nachbild
dann deutlich, wenn die Projektionsfläche nicht sehr hell ist. Ist die-
e zu hell; so übertönt der Gesammtreiz des Auges die verhältniss-
sig schwache Blendung. Beim Schliessen des Auges tritt jedoch das

Nachbild wieder auf, wenn das geöffnete Auge nicht durch stärkere Rei in anderer Weise zu sehr geblendet war.

Zuweilen ist der Übergang von dem rothen zu dem grünen Nachbild so rasch, dass die Zwischenstufe des dunklen Nachbildes mit röthlich Umgebung zu fehlen scheint.

Die Flamme einer Öllampe liefert ein Nachbild, welches zuweilen er schön blau und späterhin beim Durchgange durch schwarz rot erscheint, ohne alsdann grün zu werden.

Wenn man ein Stückchen weisses Papier auf dunklem Grund Fig. 496, stark fixirt und dann die Augen schliesst; so erscheint das Nach bild anfangs hell und weisslich, ein wenig bläulich. Späterhin, nac Überschreitung der Kulmination, wird dasselbe schwarz und dunkler a der Untergrund, etwas ins Dunkelblaue fallend. Dabei zeigt sich jedoc nach Fig. 497 ein heller Rand, welcher das Nachbild parallel zu seine

Fig. 496.

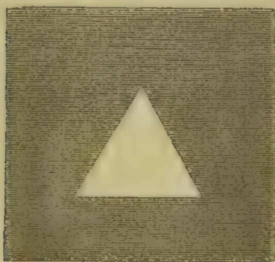
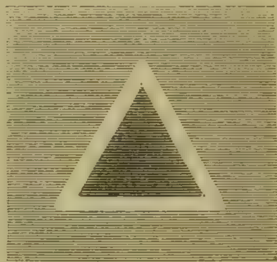


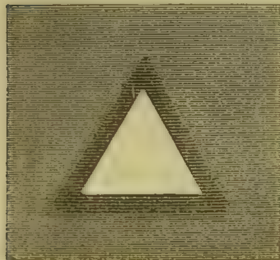
Fig. 497.



Umrisse umgiebt. Wenn die Schwärze und der helle Rand die Kulmin tion überschritten haben, hellt sich das Nachbild wieder auf, ohne jedoc die frühere Helligkeit anzunehmen. Diess Entstehen und Verschwinde kann sich mit abnehmender Intensität mehrmals wiederholen, bis das Bi endlich erlischt. Bei den späteren Wiederholungen erscheint das dunk Nachbild mit dem hellen Rande in der Regel deutlicher als das hel Nachbild.

Die Verwandlung geht in der Weise vor sich, dass das erste helle Nach bild grösser als das Objekt erscheint, nämlich so gross wie das Objekt mit de umgebenden Scheine. Durch dieses helle Bild dringt das dunkle Nachbild w ein schwarzer Kern hindurch, jedoch mit seinen äusseren Kanten zuerst un mit dem Zentrum zuletzt. Am Umfange dies dunklen Nachbildes bleiben die darüber hina ragenden Theile des hellen Nachbildes als hel Ränder stehen. Im Laufe der Zeit erweiter sich diese Ränder, überziehen das dunkle Bil und erzeugen so wieder das helle Nachbild. Di Verwandlungen gehen also immer vo aussen nach innen vor sich.

Fig. 498.



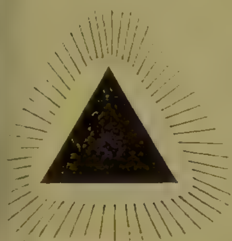
Was den hellen Rand des dunkel gewo denen Nachbildes in Fig. 497 betrifft; so is es wichtig zu bemerken, dass schon bei de scharfen Fixirung des hellen Objektes Fig. 496 sich in seiner Umge bung ein dunkler Rand nach Fig. 498 zeigt.

Nimmt man das Stückchen Papier gelb oder roth; so empfängt das hin weissliche Nachbild die gelbe resp. rothe Farbe. Beim Abklingen ses Nachbildes nimmt die Hauptfigur die komplementäre Farbe an; der ıd bleibt aber resp. gelb oder roth.

Wenn man lange beobachtet hat, kömmt das helle oder farbige chbild nicht gut mehr zu Stande, sondern nur das dunkle Nachbild dem hellen oder farbigen Rande. Die Verwandlungen beste- ı alsdann in einem Entstehen und Verschwinden des hellen ndes.

Legt man ein schwarzes Stückchen Papier auf ein weisses Blatt; gewahrt man schon beim Fixiren des ersteren einen hellen Rand nach Fig. 499. Das Nachbild ist schwarz mit schwachem hellen Schein rings herum. Dasselbe verwandelt sich sodann in ein helles Nachbild mit schwarzem Rande. Hierauf wiederholt sich der Wechsel mit abnehmender Intensität bis zum Erlöschen der Erscheinung.

Fig. 499.



Dieselben Erscheinungen, jedoch weniger deutlich, ergeben sich, wenn man das geblendete Auge, statt dasselbe zu schliessen, auf eine schwarze Projektionsfläche lenkt. Anfangs erscheinen gleichnamigen Nachbilder; im Laufe der Beobachtung werden je- ı die komplementären mit dem gleichnamigen Rande immer deutlichsten.

Richtet man das geblendete Auge auf eine weisse Projektions- ;he; so giebt das helle Objekt ein dunkles Nachbild mit hellem ıde und das dunkle Objekt ein helles Nachbild mit dunklem ıde. Ein farbiges Objekt liefert ein Nachbild von komplementärer be mit gleichnamigem Rande. Die Verwandlungen sind schwach, n merkbar. Das ursprünglich entstandene Nachbild erhält sich mei- ss mit abnehmender Intensität bis zum Verschwinden.

In beiden Fällen, sowohl bei weisser, wie bei schwar- Projektionsfläche oder bei geschlossenen Augen sind ɔ die komplementären Nachbilder mit gleichnamigen ıdern die dauerhaftesten, sodass auf die Dauer selbst bei einer varzen Projektionsfläche das reflektirte Sonnenlicht und im geschlosse- Auge das von der Blutbewegung erzeugte und das durch die Augen- : eindringende Licht zur Geltung kömmt und eine der weissen Pro- ionsfläche ähnliche Wirkung hervorbringt.

12. Schein um das Nachbild. Es ist in No. 11 bemerkt, dass n man einen weissen Fleck auf schwarzem Grunde anstarrt :. 496), sich um jenen Fleck ein dunkler Rand legt (Fig. 498). Ich jetzt noch hinzu, dass jenseit dieses dunklen Randes sich ein weiss- ıer Schein über die schwarze Fläche verbreitet, welcher diese che heller erscheinen lässt. Dieser weissliche Schein ist an dem dunk- Rande am hellsten.

Starret man einen schwarzen Fleck auf weissem Grunde an; so l der Rand hell (Fig. 499). Jenseit dieses hellen Randes aber legt

sich ein Schatten auf die weisse Fläche, welcher an dem hellen Rand am dunkelsten ist.

Da Fleck und Grund reziproke Objekte sind; so kombiniren sich diese vorstehenden beiden Erscheinungen, wenn man die Grenze zweier Objekte anstarrt, nach Fig. 500 in der Weise, dass sich auf der Grenze zwischen einem weissen und einem schwarzen Objekte auf das weisse Objekt ein noch weisserer Rand mit nachfolgendem Schatten und auf das schwarze Objekt ein noch dunklerer Rand mit nachfolgendem weisslichen Scheine legt.

Fig. 500.



Ist das eine Objekt etwas farbig und das andere weiss; so nimmt der Rand auf dem farbigen Objekte eine gleichnamige etwas dunklere und intensivere Färbung an und der umgebende Schein ist weisslich. Der Rand auf dem weissen Objekt wird sehr hell und nimmt nach längerem Fixiren einen Anflug der komplementären Farbe des farbigen Objektes an, während der umgebende Schein einen Anflug der gleichnamigen Farbe des Objektes erhält. Zuweilen, namentlich im Anfange der Beobachtung, ehe das Auge von beiden Objekten hinreichend affizirt ist, erscheint der Rand des weissen Objektes zwar hell, aber mit einem Anfluge der Farbe des Objektes, und alsdann hat der umgebende Schein einen komplementären Anflug. Mit der Zeit stellt sich jedoch das vorher genannte Verhältniss ein.

Ist das eine Objekt farbig und das andere schwarz; so empfängt das farbige Objekt einen gleichnamigen, aber helleren Rand mit umgebendem Schattenscheine. Das schwarze Objekt erhält einen dunklen Rand, der sich mit einem Anfluge der komplementären Farbe des farbigen Objektes färbt, während der umgebende Schein einen Anflug von der Farbe des farbigen Objektes annimmt.

13. Lichtlinien und Schlagschatten. Dieser Erscheinung gemäss erblickt man häufig an den architektonischen Gesimsgliedern, welche gegen zurückspringende, also beschattete Glieder vortreten und demgemäss heller sind, eine Lichtlinie auf der vorspringenden Kante, und umgekehrt ist der auf die zurückspringenden Glieder fallende Schatten oberhalb häufig von einem stechend schwarzen Rande, dem sognannten Schlagschatten besäumt.

14. Komplementäre Schatten. Ein zweiter Ausfluss jener Erscheinungen ist, dass die Schatten im farbigen Lichte mit der komplementären Farbe des Lichtes gefärbt erscheinen. Ich muss hinzufügen, dass diese komplementäre Farbe nur die Ränder der Schatten beherrscht, dass jedoch die Hauptfläche der Schatten einen Anflug von der Farbe des Lichtes erhält. Die Intensität dieses Anfluges hängt von der Intensität des farbigen Lichtes ab. Besteht nun das farbige Licht aus dem durch ein gefärbtes Glas dringende Sonnen- oder Lampenlicht; so ist dasselbe an sich schwach und erzeugt auch einen schwachen Anflug

ɪr Mitte des Schattens. An den auf diese Weise dargestellten Schatten t sich daher in der Regel der komplementär gefärbte Rand weit aus, der gleichnamige Anflug wird so matt oder tritt so sehr zurück, dass ıum bemerkt wird und der Schatten ziemlich einfach komplementär eint.

15. Versuch mit farbigen Gläsern. Ferner folgt aus den obigen ıeinungen, dass wenn man, wie Brücke that, beim Blicke auf ein ges Glas, welches die Öffnung in einem dunklen Zimmer verschliesst durch das äussere Tageslicht erhellt wird, eine kleine schwarze Scheibe das Auge hält, diese Scheibe komplementär gefärbt erscheinen . Ich füge übrigens hinzu, vornehmlich nur an den Rän- ı; denn auf den Kern der Fläche legt sich ein Schein von dem far- ı Lichte.

Die Erscheinungen in No. 11 werden besonders deutlich, wenn man weissen Objekte das Milchglas einer Lampenkuppel, zum gefärb- ein darauf gelegtes farbiges Glas und zum schwarzen irgend einen rchsichtigen Körper, eine Metallscheibe, ein Geldstück nimmt, welches eicht an dem Glase festkleben lässt.

In Beziehung auf den Gegensatz des Komplementären hat man zu beachten, dass das Milchglas der Öllampe etwas gelb und roth lt.

Überhaupt ist die Zusammensetzung der Farben bei gewöhnlichem cke nicht leicht zu erkennen; von dieser Zusammensetzung hängt oft wesentlich der Effekt ab. So hat z. B. das Ziegelroth der en rothen Gläser einen Antheil von Gelb und seine komplementäre e ist Blau (grünlich Blau); das Rosenroth oder Purpur dagegen, ıes etwas Blau statt Gelb besitzt, hat ein grünes (blaugrünes) Kom- ent.

16. Nachbild im geschlossenen Auge bei starker Blendung. ıchten wir jetzt die Wirkung stärkerer Blendungen.

Wenn man die helle Sonnenscheibe bei tiefem Stande derselben bei der theilweisen Bedeckung durch dunkle Gegenstände, überhaupt ıem Zustande, wo man ihr Licht ertragen kann, auf die Augen wir- ässt und die Letzteren sodann schliesst, möglichst dicht bedeckt und ruhig hält; so entsteht anfangs auf der geblendeten Netzhautstelle ıeller Lichtschein von wenig ausgesprochener Form nahezu in der ; des Sonnenlichtes. Bald verwandelt sich dieser Schein in ein deut- Nachbild, welches ziemlich genau die Gestalt der Sonnenscheibe mit lurch Baumzweige oder andere Gegenstände verdeckten Stellen dar- . Hat man die Augen beim Anblicke der Sonne nicht still gehalten; tsteht ein verzogenes Bild. Blinzelte man mit den Augen oder waren ben überhaupt nicht genau akkommodirt, sodass sich Sternstrahlen gten; so ist das Bild auch mit diesen Strahlen behaftet.

Da wo die Sonne selbst ihr Bild entwirft, findet fast immer die ste Blendung statt und von dieser Stelle sprechen wir zunächst.

Es ist schon gesagt, dass das Bild dem blendenden Objekte ziemlich au, nicht ganz genau entspricht. Dasselbe ist mehr oder weniger

verzogen und überhaupt kleiner als beim Anblicke des Objekte Man gewahrt bald das Bestreben in dem Blendbilde, sich abzurunde Die vorspringenden Ecken ziehen sich ein, tiefe Einschnitte (durc schmale verdeckende Gegenstände hervorgebaracht) füllen sich allmäh lich aus und endlich konzentrirt sich die Erscheinung auf eine mehr ode weniger regelmässige Scheibe.

In Beziehung auf Farbe; so erscheint das aus dem ersten Lich scheine hervortretende Sonnenbild bei starker Blendung anfangs bläu lich in einem ziemlich hellen und etwas ins Grüne fallenden Tone. Di Scheibe ist jedoch nicht einfarbig, sondern hat farbige Ränder, dere Breite nach den Umständen grösser und kleiner ist, sodass zuweilen de eine oder der andere vorwaltet oder kaum sichtbar ist. Der Reihenfolg nach ist (Fig. 501) die innere Fläche *a* blau, der erste Rand *b* grü der zweite *c* gelb, der dritte *d* orange, der vierte *e* roth.

In dieser Farbenfolge giebt sich also die prismatisch Farbenreihe wieder.

Fig. 501.

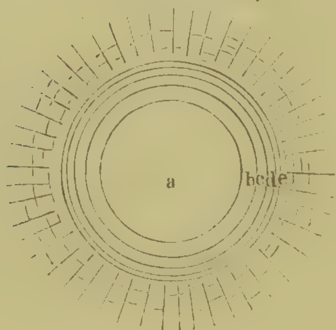
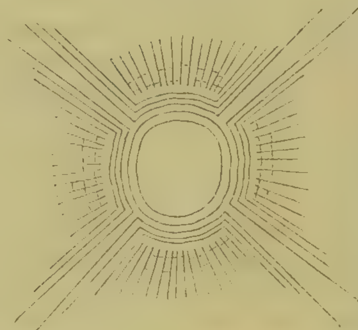


Fig. 502.



War die Umgebung der Sonne sehr hell oder hatten sich Strahle gebildet; so erscheint deren Bild anfangs in einer der eben genannte Farben und bildet die Erweiterung des betreffenden farbigen Ringe Welche Farbe diess ist, hängt von dem Grade der Blendung ab, welche die Strahlen verursachten. Fig. 502 stellt den Fall dar, wo die Strahle gelb erscheinen. Der orangene rothe Rand legt sich alsdann um die in nere Scheibe und läuft an den Strahlen fort.

Um die soeben beschriebene bunt geränderte Scheibe legt sich ei matt leuchtender Lichtschein. Anfangs ist dieser Schein schwach un gegen die stark leuchtende Hauptfigur wenig bemerkbar; späterhin trit derselbe kräftiger hervor und man bemerkt alsdann, dass zwischen de Hauptfigur und jenem Lichtscheine ein schwarzer Grenzstreifen sic bildet.

Der Lichtschein ist ebenfalls nicht einfarbig; sondern gerändert. Zu nächst um die Hauptfigur ist dieser Schein am hellsten und seine Haupt färbung ist komplementär zu der Hauptfarbe der mittleren Scheibe, als gelblich, wenn die Scheibe bläulich ist. Auf diesen innersten und hellste Rand des umgebenden Scheines folgen Ränder nach der Reihe der pris matischen Farben, sodass der äusserste Rand immer röthlich und au

ıächsten ist. Die Farbenfolge ist also in dem Scheine elbe wie in der Hauptfigur.

17. Abklingen bei starker Blendung. Bei völlig ruhig gehalte- Auge geht das Abklingen der Farben im vorstehenden Blendbilde ıdermaassen vor sich.

Durch die hellblaue Zentralscheibe scheint eine grüne von der ı des angrenzenden Ringes hindurchzudringen. Die Durchdringung ıam äusseren Umfange im Anschlusse an den grünen Ring am kräf- ın vor sich: der Farbenwechsel trägt jedoch das Ansehen einer Ver- ıdlung der früheren blauen Scheibe in die neue grüne. In ähnli- Weise folgt dann eine gelbe, darauf eine orangene und zuletzt :othe Scheibe. Der Übergang durch die grünen, gelben oder oran- ı Töne ist oft schnell und undeutlich. Jedes Zucken mit den Augen, Lichteindruck stört den Verlauf und verwischt zuweilen die Zwi- sstufen. Zuweilen scheint zwischen zwei auf dem Farbenwechsel be- .den Nachbildern ein Zustand der Ruhe zu liegen, in welchem das bild der Scheibe, wenn auch nicht das des äusseren Scheines ver- ıunden ist. Die letzte Stufe der rothen Scheibe ist gemeinlich ıehr deutliche und stabile.

In diesem Stadium sind die farbigen Ränder der Hauptfigur sämmt- verschwunden, die Scheibe ist gleichmässig roth. Das Roth dieser hat den Ton des Ziegelroths oder Zinnobers, d. h. es ist ein eil von gelb darin. Inzwischen hat sich der ganz schwarze Rand ie Figur breiter ausgebildet, indem der farbige Kern etwas kleiner rden ist, ausserdem ist der äussere Lichtschein kräftiger geworden, ; die Erscheinung die Gestalt der Fig. 503 und noch später die der ı04 annimmt.

Der rothe Kern verkleinert sich hierauf immer mehr und verschwin- ıdlich ganz oder wird schwarz wie der Rand (Fig. 505). Zuweilen t der Kern, ehe er schwarz wird, eine dunkelblaue Färbung an.

Fig. 503.

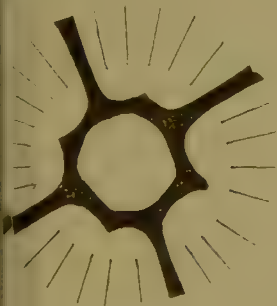
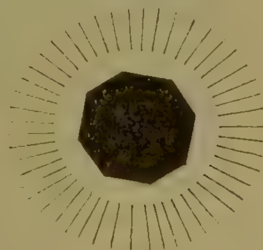


Fig. 504.



Fig. 505.



Der Übergang des rothen Kernes in den dunkelblauen oder schwar- nterscheidet sich von den früheren Farbenwechseln wesentlich da- dass die früheren Wechsel wahre Verwandlungen oder Durch- ıungen zu sein scheinen, bei welchen die neue Farbe sehr bald und ch gleichmässig die ganze Fläche der Figur durchdringt, wogegen bergang des rothen Kernes in den dunkelblauen oder schwarzen eine

Verkleinerung oder Zusammenziehung des rothen Kernes auf du kelblauem oder schwarzem Grunde ist, in Folge deren sich der rothe Ke nicht etwa durchgehends schwärzt, sondern auf einen immer kleiner Fleck reduzirt, ehe er ganz verschwindet.

Der leuchtende Schein rings herum, welcher beim Schwarzwerd des Kernes am leuchtendsten ist, wird nun ebenfalls allmählich blass und wenn derselbe verschwunden ist, hat die Erscheinung ihr Ende reicht. Im Übrigen verändert der Schein im Laufe der Zeit seine Farb in der Weise, dass seine Hauptfärbung im leuchtendsten inneren The nahezu komplementär der Hauptfarbe des Kernes bleibt.

18. Störungen. Dieser regelmässige Verlauf setzt die Fernhaltu jeder Störung und das Verbleiben des Auges in völliger Finsterniss vo aus. Diese Bedingungen sind schwer zu erfüllen. Sobald durch die Li tung der vor das Gesicht gehaltenen Hände das Auge durch die Auge lider auch nur wenig Licht empfängt, verändert sich die Erscheinun Disse Veränderung besteht theils in einem Farbenwechsel, theils in ein mehr oder weniger vollständigen Störung, Zertrümmerung, Auslöschung d Nachbildes, welches späterhin bei der Wiederherstellung der früheren V hältnisse zwar wiederkehrt, jedoch meistens nicht die frühere Deutlichk wieder erlangt.

Noch stärker ist die Störung, wenn man die Augen ganz öffnet, u sie wieder zu schliessen. Der Eindruck des neuen Lichtes, welches auf d geschlossen gehaltene Auge umso empfindlicher wirkt, verursacht gewöh lich, dass das Nachbild späterhin in veränderter Form und mit veränd ten Farben erscheint.

Eine stärkere Verdunklung der Augen stört ebenfalls das Nachbi

Auch eine Bewegung der Augen hat eine ähnliche Störung z Folge.

Ja sogar jede Anstrengung irgend eines dem Willen unterworfen Nerven, sei es behuf Veränderung der Akkommodation, behuf schärfen Fixirung des Nachbildes, behuf Erhöhung, Verminderung oder Ablenku der Aufmerksamkeit u. dgl. und auch jeder willenlos hervorgebrach Nervenreiz, z. B. eine Affektion der Gefühlsnerven im Auge kann ähnlic Störungen nach sich ziehen.

19. Nachbild einer Milchglaskuppel. Die Milchglaskupp einer Öllampe, welche ein gelblich röthliches Licht aussendet, umgiebt si schon, ehe man das starrende Auge schliesst, mit einem grünlich Rande, welcher innerhalb ihres Umrisses auf ihren eigenen Körper fä

Schliesst man das geblendete Auge; so erhält man erst die unb stimmte Lichterscheinung, darauf ein scharfes rothes Nachbild mit helle Scheine. Dasselbe geht in ein schön dunkelblaues mit gelblichem, an d äussersten Grenze röthlichem Scheine über. Den Schluss bildet ein schwa zes Bild mit hellem Scheine.

Ich fand, dass die Nachbilder dieser Lampenkuppel aus der Entfe nung von 6 Fuss weit deutlicher, kräftiger und dauernder waren, als a ganz naher Entfernung von $1^1/_2$ Fuss. Im letzteren Falle fehlte meiste

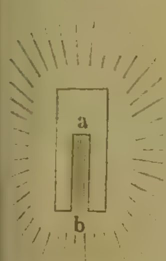
·othe Nachbild und es entstand aus dem ersten hellen Scheine sogleich blaue, jedoch weniger kräftig.

Aus der Entfernung von 12 Fuss wurde das aus dem hellen Scheine entwickelnde Nachbild sogleich schwarz mit sehr hellem Scheine ich.

20. **Nachbild einer hellen Wolke.** Wenn das blendende Objekt die Sonnenscheibe selbst, sondern eine sehr helle Wolkenpartie 'elche ein milchweisses Licht aussendet; so haben die Nachbilder bis rothen nahezu die unter No. 17 beschriebenen Farben der von der enscheibe selbst herstammenden Nachbilder. Auf das rothe folgt h nicht sofort das schwarze, sondern durch Übergang der rothen ı eine rothblaue oder violette Färbung ein tief blaues (ähnlich dem . 19 erwähnten Nachbilde der Milchglaskuppel), welches schliesslich Anflug von Grün erhält. Der äussere Schein ist alsdann röthlich.

21. **Helligkeitsverhältnisse in dem umgebenden Scheine.** Der äussere Schein kontrastirt gegen die Kernfigur in Beziehung auf Farbe, indem er sich komplementär verhält. In Beziehung auf Intensität, so ist er in der Berührung mit der Hauptfigur am stärksten und Diess spricht sich auch in der Weise aus, dass wenn das Nachbild keine runde Scheibe bildet, sondern Einschnitte hat, wie Fig. 506, in dem Einschnitte *a b* der äussere Schein am stärksten leuchtet.

Fig. 506.



22. **Nachbilder auf einer matt weissen Projektionsfläche.** ı man das geblendete Auge auf eine matte weisse Fläche richtet; gen die Nachbilder nahezu dieselben Farben, wie die vorstehend bebenen in dem geschlossenen Auge.

Ist die weisse Fläche jedoch sehr hell, insbesondere heller als das ende Objekt; so fehlen die gleichnamigen (und die mehrfach eren rothen) Nachbilder, womit das Spiel der Erscheinungen bei einer arzen Projektionsfläche oder im geschlossenen Auge beginnt, s treten sofort die komplementären Nachbilder auf.

Wenngleich eine matte weisse, d. h. eine Fläche von geringerer keit als das blendende Objekt, nahezu dieselben Nachbilder zeigt, ine ganz dunkle Fläche oder wie das geschlossene Auge; so ch die Intensität der Farben der Nachbilder umso stärker, je dunke Projektionsfläche ist. Ausserdem verwandelt sich sofort jedes Nachnomentan in das komplementäre, sobald man von einer dunkleren ne hellere Fläche blickt, also auch indem man das geschlossene Auge Ebenso stellt sich bei der Abwendung des Blickes von einer helleren ne dunklere Fläche oder beim Schliessen des geöffneten Auges bald r, bald erst nach einiger Zeit das komplementäre Nachbild ein.

23. **Nachbilder von Objekten mittlerer Leuchtkraft.** Es wird unnütz sein, den Effekt der Blendung, welchen wir in No. 11 für

sehr matte und in No. 16 und 17 für sehr stark leuchtende Objekte trachtet haben, noch für Objekte von *mittlerer Leuchtkraft* u ausserdem für Objekte zu beschreiben, welche gleichzeitig *mehr als* ei *Farbe* darbieten. Objekte dieser Art sind Flammen von Kerzen u Öllampen, theils frei, theils mit Kuppeln, besonders mit den gleichförn leuchtenden *Milchglaskuppeln* bedeckt. Betrachtet man diese Fla men durch farbige Gläser oder lehnt man an die Kuppeln derartige Glä oder undurchsichtige Körper, so kann man sehr mannichfaltige Effe hervorbringen.

Zur Erzeugung der Nachbilder für derartige *Flammen* eignet s am besten das geschlossene und verdeckte Auge und auch der Blick die weisse Milchglaskuppel.

Will man derartige Erscheinungen bei Tageslicht mit Hülfe versch denfarbiger *Papierstücke* beobachten; so ist als Projektionsflä eine *weisse Papierfläche* am besten geeignet.

Ein gutes Nachbild erfordert nämlich immer eine Projektionsfläc deren Lichtstärke nicht zu bedeutend ist, sondern womöglich schwäc als die des blendenden Objektes ist.

Eine freie *Ölflamme* erzeugt bei möglichst starker Blendung geschlossenen Auge, nachdem der erste flüchtige Lichtschein, welcher positives Nachbild darstellt, vorüber ist, ein negatives Nachbild, welc ähnlich dem Nachbilde der Sonnenscheibe abklingt. Dasselbe ist erst ge dann orange, dann roth. Das rothe Nachbild zieht sich zusammen, Grund erscheint dann blau, hierauf grün und schliesslich schwarz.

Betrachtet man eine freie Ölflamme durch ein *ziegelrothes* Gl wodurch das Licht so gedämpft wird, dass keine starke Blendung und k vielfach abklingendes Nachbild mehr möglich ist; so entsteht im geschl senen Auge als positives Nachbild zuerst ein flüchtiger röthlicher Sch und darauf ein negatives scharfes *blaues* Nachbild, welches allmähli erlischt.

Legt man das *ziegelrothe* Glas, welches beim Blicke auf eine fr Ölflamme ein *blaues* Nachbild erzeugte, auf die weisse Milchglaskupp so wird des Nachbild *grün*, weil die Kuppel eine grosse Menge der ge *ben* Strahlen der Flamme absorbirt, also die rothe Blendfarbe reiner u dadurch die Komplementärfarbe *grün* macht.

Das negative Nachbild einer durch ein *grünes* Glas fixirten Ölflam ist roth.

Legt man aber dieses grüne Glas auf die weisse Milchglaskuppel; wird das Nachbild *orangeroth*, weil die Komplementärfarbe jetzt me Gelb enthalten muss.

24. Nachbilder mehrfarbiger Objekte. Was jetzt die Nachbild *mehrfarbiger Objekte* betrifft; so zeigen dieselben ein ähnliches Ve halten, wie die durch den direkten Anblick mehrfarbiger Gegenstände en stehenden Kontraste.

Betrachten wir zunächst die Wirkung farbiger Gläser und dunk Objekte an einer weissen Milchglaskuppel.

Ein *schwarzer* Fleck auf der *weissen* (aber gleichwohl v gelblichem Lichte durchdrungenen) Kuppel giebt ein *gelbes* Nachb

›lauer Kuppel. Um die Kuppel legt sich ein gelblicher Licht-
n.

Stellt man erst ein rothes Glas vor die Kuppel und legt darauf chwarze Objekt; so wird das Nachbild des Letzteren röthlich-, des rothen Glases grün, der Kuppel blau; der äussere Schein gelb.

Legt man den schwarzen Fleck auf ein grünes Glas; so wird Nachbild grün oder gelblichgrün, das Glas roth oder orange, die el blau oder grünblau, der Schein gelb.

Ein rothes Glas vor der Kuppel giebt ein grünes Nachbild mit r Kuppel.

Ein grünes Glas vor der Kuppel giebt ein orangerothes Nachbild mit ›lauer Kuppel.

Ein blaues Glas vor der Kuppel giebt ein orangenes Nachbild mit r Kuppel.

Beim Abklingen dieser Nachbilder erlischt dasjenige Objekt zuerst, es die schwächste Blendung erzeugte und wird schwarz, während ıderen Objekte noch fortleuchten.

Wie schon erwähnt, giebt ein schwarzer Fleck auf der Kuppel ein Nachbild mit kräftig blauer Kuppel. Hierbei ist vorausgesetzt, nan den Fleck fixirte. Heftet man die Augen bei der Blendung auf uppel; so ergiebt sich umso mehr das der Kuppel allein zukommende, em Flecke unabhängige Nachbild, je entfernter man den Fixirungs- von jenem Flecke nahm, je schwächer also die Kontrastwirkung ist, ieses Nachbild ist etwas bläulich.

Wendet man zu den letzteren Versuchen bei Tage buntes Papier ıdem man zu der weissen Projektionsfläche, auf welcher man egativen Nachbilder mit offenem Auge erzeugt, ein Blatt weisses nimmt; so erhält man ganz ähnliche Erscheinungen, von welchen ewisse Anzahl im Folgenden zusammengestellt sind.

bjekt		Nachbild	
eck	Grund	Fleck	Grund
z	weiss	hell	grau (schwärzlicher Schein um den Fleck)
	schwarz	grau	hell
z	roth	hellroth	grünblau
	schwarz	grünblau	hell
	roth	grauroth	grünblau
	weiss	grünblau	grau (röthlicher Schein um den Fleck)
z	orange	orange	blau
	schwarz	blau	hell
	orange	orange	blau
	weiss	blau	grau (orangener Schein um den Fleck)
z	gelb	gelb	violet
	schwarz	violet	hell
	gelb	gelb	violet
	weiss	violet	grau (gelblicher Schein um den Fleck)
z	grün	grün	roth
	schwarz	roth	hell
	grün	grün	roth
	weiss	roth	grau (grünlicher Schein um den Fleck)
z	blau	blau	orange
	schwarz	orange	hell

Objekt		Nachbild	
Fleck	Grund	Fleck	Grund
weiss	blau	blau	orange
blau	weiss	orange	grau (bläulicher Schein um den Fle
schwarz	violet	hellviolet	grünlichgelb
violet	schwarz	grünlichgelb	hell
weiss	violet	violet	grünlichgelb
violet	weiss	grünlichgelb	grau (violetlicher Schein um den Fle
gelb	roth	rosaroth	grünblau
gelb	blau	violet	orange
gelb	grün	blauroth	roth
roth	gelb	blaugrün	violet
roth	blau	blau	orange
roth	grün	grünblau	roth
blau	roth	orange	grünblau
blau	gelb	röthlichgelb	violet
blau	grün	gelblichorange	roth
grün	roth	roth	grünblau
grün	gelb	gelbroth	violet
grün	blau	bläulichroth	orange

Dieselben Nachbilder stellen sich dauernd ein, wenn man statt weissen eine schwarze Projektionsfläche nimmt. Das Graue wird je tief dunkel.

25. Kontrastwirkungen. Aus allem Vorstehenden folgt, dass dauernde Nachbild sowohl bei geschlossenen Augen, wie auch beim Bli auf eine schwarze oder auf eine weisse Fläche die komplementä Farben des Objektes annimmt, dass jedoch diese Farben durch die grenzenden Farben des Nachbildes nach dem Kontrastgese (also bald mehr, bald weniger, je nach der Intensität und Verschieden der Kontrastfarbe) beeinflusst werden und dass die umgeben Scheine Kontrastwirkungen sind. Auf die Intensität und a auf die Farbentöne des negativen Nachbildes hat die Projektionsflä ebenfalls einen gewissen Einfluss, indem Das, was wir Schwarz oder W nennen, niemals absolut schwarz oder weiss ist, auch im geschlosse Auge ein besonders gefärbtes Licht herrscht und bei jeder weiss Projektionsfläche während der Kontrastirung mit einer gewissen Fa das Intensitätsverhältniss zwischen dieser Farbe und den Elementarbesta theilen jener Fläche in Betracht kömmt.

26. Nachbilder auf farbigen Projektionsflächen. Jetzt s auch die Fälle zu betrachten, wo die Projektionsfläche weder weiss n schwarz, sondern gefärbt ist. Die Farben der dauernden Nachbil eines Objektes, welches nur von dunklen, also schwach wirkenden, Erscheinung nicht beeinflussenden Gegenständen umgeben ist, sind in gender Tabelle zusammengestellt.

Objekt	Projektions-fläche	Nachbild
weiss	roth	grauroth
schwarz	"	blassroth
orange	"	schwärzlichblauroth
gelb	"	blauroth
grün	"	bläulichroth
blaugrün	"	roth
blau	"	orangeroth
violet	"	gelbroth
weiss	orange	grauorange
schwarz	"	blassorange
roth	"	gelbgrau
gelb	"	bläulichroth
grün	"	rothgrau
blaugrün	"	orangeroth
blau	"	orange
violet	"	orangegelb
weiss	gelb	graugelb
schwarz	"	blassgelb
roth	"	gelbgrün
orange	"	grünlichgrau
blaugrün	"	orange
grün	"	röthlichgelb
blau	"	rothgelb
violet	"	gelb
weiss	grün	graugrün
schwarz	"	blassgrün
roth	"	blaugrün
orange	"	gelbgrün
gelb	"	blaugrün
blaugrün	"	violetgrau
blau	"	gelblichgraugrün
violet	"	gelbgrün
weiss	blaugrün	graublaugrün
schwarz	"	blassblaugrün
roth	"	blaugrün
orange	"	grünblau
gelb	"	blau
grün	"	grau
blau	"	gelbgrün
violet	"	grün
weiss	blau	graublau
schwarz	"	blassblau
roth	"	blau
orange	"	blau
gelb	"	dunkelblau
grün	"	röthlichblau
blaugrün	"	violet
violet	"	blaugrün
weiss	violet	grauviolet
schwarz	"	blassviolet
roth	"	violetlichblau
orange	"	blau
gelb	"	violet
grün	"	violetgrau
blaugrün	"	röthlichviolet
blau	"	violetlichroth

27. Einfluss der Umgebung des Objektes. Nachdem wir Vorstehenden schon mehrfach gefunden haben, dass die einzelnen Th des Nachbildes sowohl in Beziehung auf Farbe, wie in Beziehung Intensität nach dem Kontrastgesetze aufeinander einwirken, wie D auch mit den einzelnen Theilen des Objektes selbst der Fall ist; so w es zur Vervollständigung der hierher gehörigen Erscheinungen nütz sein, noch folgende Resultate mitzutheilen, bei welchen die Projektio fläche genau dieselbe Farbe und Lichtstärke hat, wie das Obj selbst.

Füllte dieses Objekt das ganze Gesichtsfeld aus; so könnte offen auf einer dem Objekte ganz gleichen Projektionsfläche gar kein Nachb entstehen. Wenn jedoch das Objekt nur einen Theil des Gesichtsfel ausmacht; so entsteht vermöge des Kontrastes zwischen dem Objekte dem übrigen Gesichtsfelde ein Nachbild auf der dem Objekte ganz gleic Projektionsfläche.

Die Versuche lassen sich leicht in der Weise anstellen, dass man gefärbtem Papier eine kleine Scheibe, welche das Objekt darstellt, auf ei anders gefärbten Grund klebt und den Blick alsdann auf eine Fläche der Farbe des Objektes richtet. Die Erscheinungen sind im Folgen dargestellt.

Objekt	Grund	Projektions-fläche	Nachbild
weiss	schwarz	weiss	grau
"	roth	"	röthlichgrau
"	gelb	"	gelblichgrau
"	grün	"	grünlichgrau
"	blau	"	bläulichgrau
schwarz	weiss	schwarz	hell
"	roth	"	röthlich
"	gelb	"	gelblich
"	grün	"	grünlich
"	blau	"	bläulich
roth	schwarz	roth	bläulichrothgrau
"	weiss	"	bläulichroth, hell
"	gelb	"	gelblich
"	grün	"	grünlich
"	blau	"	bläulich
gelb	schwarz	gelb	röthlichgelbgrau
"	weiss	"	röthlichgelb, hell
"	roth	"	röthlich
"	grün	"	grünlich
"	blau	"	bläulich
grün	schwarz	grün	gelblichgrüngrau
"	weiss	"	gelblichgrün, hell
"	roth	"	röthlich
"	gelb	"	gelblich
"	blau	"	bläulich
blau	schwarz	blau	gelblichblaugrau
"	weiss	"	röthlichblau, hell
"	roth	"	röthlich
"	gelb	"	gelblich
"	grün	"	grünlich

Die Farbe des Nachbildes des Grundes, auf welchem das Obj liegt, ist hierbei nicht angegeben, da die letzte Tafel in der vorhergeh

Nummer dieselbe enthält. So liefert z. B. ein rothes Objekt über ıem Grunde auf der rothen Projektionsfläche nach vorstehender Tabelle das Objekt ein bläuliches, nach der letzten Tabelle in der vorherenden Nummer aber für den Untergrund ein gelbliches (gelbrothes) hbild.

28. **Wirkung einer helleren oder dunkleren Umgebung.** Die en Versuche lehren, dass ein weisses Objekt, wenn es nur mit irgend r Farbe umrahmt ist, auf derselben weissen Projektionsfläche ein kles Nachbild liefert (welches einen Anflug der Farbe des Grundes auf welchem das Objekt ruht).

Das Nämliche findet selbst dann noch statt, wenn die Projektionse heller ist als das umrahmte Objekt.

Dass ein weisses Objekt aber auch auf dunklerer und selbst warzer Projektionsfläche ein dunkles dauerndes Nachbild (mit hel- Umscheine) liefert, ist aus dem Früheren ebenfalls bekannt.

Das umrahmte helle Objekt hat also immer ein dunkles dauerndes hbild, gleichviel welche Lichtstärke die gleichfarbige Projektionsfläche Nur bei sehr intensiven Projektionsflächen wird durch die Blen- dieser Fläche die relativ schwache Wirkung des Objektes verwischt.

Umgekehrt hat ein dunkles oder ein schwarzes Objekt mit helle- Umrahmung stets ein helles Nachbild, welche Lichtstärke auch die hnamige Projektionsfläche besitze.

29. **Wirkung der Farbenverschiedenheit zwischen dem Ob- und dessen Umgebung.** Durch Vorstehendes ist nur ein Gesetz ziehung auf die relative Intensität des Nachbildes in Beziehung iner Umgebung ausgedrückt. Hinsichtlich der Farbe oder Färbung Nachbildes, bei welcher die Farben des Objektes und seiner Umgebung er Farbe der Projektionsfläche konkurriren, gelten die obigen Be- ngen.

Da nun die verschiedenen weissen Flächen nicht absolut weiss und rschiedenen schwarzen Flächen nicht absolut farb- und lichtlos sind, rner der Zustand in den geschlossenen Augen weder ein lichtleerer, das darin enthaltene Licht weiss ist; so werden die dauernden bilder eines Objektes weder in Beziehung auf absolute Intensität, in Beziehung auf Färbung bei jeder weissen, bei jeder schwar- oder grauen und bei geschlossenen Augen nicht genau, sondern äherungsweise dieselben sein können.

Ausserdem ist zu bemerken, dass in dem Augenblicke, wo man eine Projektionsfläche in eine schwarze oder eine schwarze in eine weisse ndelt, das Nachbild immer momentan seine Intensität umkehrt und Anflug der komplementären Farbe annimmt, und dass eine ge- Zeit darüber verfliesst, ehe das dauernde Nachbild wieder entsteht. Nachbild trägt dann nicht bloss die mit der neuen Projektions- verbundenen Modifikationen, sondern hat auch meistens durch die iche Erschütterung an Deutlichkeit, Intensität und Farbe gelitten.

30. Konkurrenz zweier Objekte. Zur Vervollständigung d Versuche, durch welche sowohl die Wirkung der Farbe der Projektions fläche, als auch der Einfluss der Farben zweier aneinanderstossen den Objekte in möglichster Allgemeinheit dargethan wird, erlaube i mir noch folgende Beobachtungen mitzutheilen. Dieselben sind bei Ta mit farbigem Glanzpapier angestellt. Die beiden Objekte besta den aus zwei nebeneinander gehaltenen Quadraten von etwa 2 Zoll Seite länge. Die Farben werden sicherlich keine reinen oder einfachen sei Namentlich besass das rothe Papier einen geringen Antheil Gelb u demzufolge ein blaues, nur wenig ins Grüne fallendes Komplement. D fleischrothe Papier, dessen Farbe mit f.roth bezeichnet ist, hatte e ziemlich reines grünes Komplement.

In Beziehung auf Leuchtkraft nahmen diese Farben folgen Reihenfolge ein: weiss, gelb, grün, f.roth, blau, roth, schwarz. Der I tensitätsunterschied zwischen der gelben, grünen und f.rothen war nic bedeutend, ebenso zwischen der blauen, welches tief blau war, und d rothen.

Alle möglichen Kombinationen, welche man sowohl hinsichtlich d Farben der beiden Objekte, als auch hinsichtlich der Farbe der Projektion fläche bilden kann, sind, unter Beschränkung auf die Farben Weiss, Schwa Roth, Gelb, Grün, Blau, in folgender Tabelle enthalten.

Hinsichtlich der Bezeichnung der Farbe der Nachbilder in die Tafel ist zu bemerken, dass wenn diese Farbe nicht ganz bestimmt, so dern mit dem Ausdrucke röthlich, gelblich u. s. w. oder hell, dunkel, gr bleich angegeben ist, sie den Anflug bezeichnet, welcher sich auf d Projektionsfläche legt: die absolute Farbe des Nachbildes hat alsdann d Farbe der Projektionsfläche zur Grundfarbe.

Objekt 1	Objekt 2	Projektions-fläche	Nachbild 1	Nachbild 2
weiss	schwarz	weiss	grau	hell
"	"	schwarz	schwarz	hell
"	"	roth	grau	hell
"	"	f. roth	grau	hell
"	"	gelb	grau	hell
"	"	grün	grau	hell
"	"	blau	grau	hell
weiss	roth	weiss	gelblichroth	grünlichblau
"	"	schwarz	röthlich	grünlichblau
"	"	roth	grau	hell (bläulich)
"	"	f. roth	dunkelroth	violet
"	"	gelb	röthlich	grünlich
"	"	grün	bräunlich	bläulich
"	"	blau	röthlich (etwas grau)	stark blau (etwas hell
weiss	f. roth	weiss	f. roth	grün
"	"	schwarz	f. roth	grün
"	"	roth	schwärzlich	schwärzlich
"	"	f. roth	grau	graulich (matt)
"	"	gelb	orangegrau	graulich
"	"	grün	grau	grün (matt)
"	"	blau	röthlichgrau	bleich (sehr matt)
weiss	blau	weiss	bläulichbräunlich	orange
"	"	schwarz	bläulichbräunlich	orange

Objekt 1	Objekt 2	Projektions-fläche	Nachbild 1	Nachbild 2
eiss	blau	roth	bläulichgrau	gelblich
"	"	f. roth	grau	orangegelblich
"	"	gelb	grünlichgrau	orange
"	"	grün	grau	gelblich
"	"	blau	kräftig blau	bleich
eiss	gelb	weiss	gelblich	röthlich
"	"	schwarz	gelblich	violet
"	"	roth	gelblich	f. röthlich
"	"	f. roth	gelblich	f. röthlich
"	"	gelb	kräftig gelb	matt (graulich)
"	"	grün	gelblich	bläulich
"	"	blau	schwach graulich	kräftig blau
warz	grün	weiss	grün	roth
"	"	schwarz	grünlich	röthlich
"	"	roth	grau (schwach)	grau (schwach)
"	"	f. roth	grau	kräftig f. roth
"	"	gelb	bläulichgrau	orange
"	"	grün	kräftig grün	bräunlich
"	"	blau	blau	röthlichviolet
varz	roth	weiss	roth (hell)	blau (hell)
"	"	schwarz	röthlich (dunkel)	blau (dunkel)
"	"	roth	hellroth	schwarzroth
	"	f. roth	hellroth	violet
	"	gelb	hellgelb	grünlich
	"	grün	hellgrün	bläulich
	"	blau	hell röthlichblau	kräftig blau
varz	f. roth	weiss	röthlich	grün
	"	schwarz	röthlich	grün
	"	roth	bleich (weisslich)	grau
	"	f. roth	hell (matt)	violetlich
	"	gelb	hell	grünlich
	"	grün	hell	grüngrau
	"	blau	hellblau	dunkelblau (matt)
arz	blau	weiss	hell (etwas bläulich)	orange
	"	schwarz	hell	orange
	"	roth	bleich	gelblich
	"	f. roth	bleich	orange
	"	gelb	grünlich bleich	orange
	"	grün	bläulich bleich	gelblich
	"	blau	bleich	bleich
arz	gelb	weiss	hell (etwas gelblich)	violet
	"	schwarz	hell (etwas gelblich)	violet
	"	roth	gelblich bleich	violetlichroth
	"	f. roth	weisslich	f. roth
	"	gelb	hell	bräunlichgrau
	"	grün	hell	bläulich
	"	blau	bleich	kräftig blau
arz	grün	weiss	hell (grünlich)	roth
	"	schwarz	hell (grünlich)	roth
	"	roth	hell (matt)	dunkel (matt)
	"	f. roth	bläulich	f. roth
	"	gelb	hellgelb	orange
	"	grün	hell	bräunlich
	"	blau	hell	röthlich
h	blau	weiss	grünlichblau (hell)	orange (hell)
	"	schwarz	grünlichblau (dunkel)	orange (dunkel)
	"	roth	bläulich	gelblich
	"	f. roth	bläulichgrau	orange

Objekt 1	Objekt 2	Projektionsfläche	Nachbild 1	Nachbild 2
roth	blau	gelb	grünlich	orange
"	"	grün	bläulich	gelblich
"	"	blau	kräftig blau	röthlich
roth	f. roth	weiss	bläulich (hell)	grünlich (etw. gelblic
"	"	schwarz	bläulich (dunkel)	grünlich (dunkel)
"	"	roth	bleich (weisslich)	grau
"	"	f. roth	violet (bläulich)	grau (bräunlich)
"	"	gelb	grünlich	grau (bräunlich)
"	"	grün	bläulich	grau (gelblich)
"	"	blau	hellblau (matt)	dunkelblau (matt)
roth	gelb	weiss	grünlichblau (hell)	violet (röthlich)
"	"	schwarz	grünlich (dunkel)	violetlich (dunkel)
"	"	roth	bleich (bläulich)	f. roth
"	"	f. roth	bläulich	kräftig f. roth
"	"	gelb	grünlich	bräunlich
"	"	grün	hellgrün	bläulich
"	"	blau	hellblau (etw. grünlich)	dunkelblau (violetlich
roth	grün	weiss	grünlichblau (hell)	roth (hell)
"	"	schwarz	grünlich (dunkel)	röthlich (dunkel)
"	"	roth	bläulich (matt)	sehr matt
"	"	f. roth	bläulichgrau	f. roth
"	"	gelb	grünlich	orange
"	"	grün	bläulich	bleich (bräunlich)
"	"	blau	hellblau	violet
f. roth	blau	weiss	grün (hell)	orange (hell)
"	"	schwarz	grünlich (dunkel)	orange (dunkel)
"	"	roth	grau	gelblich
"	"	f. roth	violet grau	gelbroth
"	"	gelb	grünlichgrau	orange
"	"	grün	grünlichgrau	gelblich
"	"	blau	grau	bleich (röthlich)
f. roth	gelb	weiss	grün (hell)	violet (hell)
"	"	schwarz	grünlich (dunkel)	violetlich (dunkel)
"	"	roth	gelblichgrau	f. rothbläulich
"	"	f. roth	gelblich (matt)	f. roth (matt)
"	"	gelb	grünlich (schwach)	grau
"	"	grün	gelblichgrünlich	bläulich
"	"	blau	bleich	violet
f. roth	grün	weiss	grün (hell)	f. roth (hell)
"	"	schwarz	grünlich (dunkel)	f. röthlich (dunkel)
"	"	roth	gelblich	f. röthlich
"	"	f. roth	violetlich (schwach)	f. roth
"	"	gelb	grünlichgrau	orange
"	"	grün	kräftig grün	bräunlich grau
"	"	blau	hell (schwach)	violetlich
blau	gelb	weiss	orange (hell)	violetroth (hell)
"	"	schwarz	orange (dunkel)	violetröthlich (dunk
"	"	roth	gelblich	f. röthlich
"	"	f. roth	orange	violet
"	"	gelb	gelb (etwas orange)	grau
"	"	grün	gelblich	bläulich
"	"	blau	gelblichröthlich (bleich)	dunkelblau
blau	grün	weiss	orange (hell)	f. roth (hell)
"	"	schwarz	orange (dunkel)	f. röthlich (dunkel)
"	"	roth	gelblich	f. rothbläulich
"	"	f. roth	orange	f. roth
"	"	gelb	orange	orangegrau
"	"	grün	gelblich	grau

Objekt 1	Objekt 2	Projektions-fläche	Nachbild 1	Nachbild 2
›lau	grün	blau	grünlich bleich	dunkelblau (etw. violet)
·elb	grün	weiss	roth (hell)	violet (hell)
„	„	schwarz	röthlich (dunkel)	violetlich (hell)
„	„	roth	gelblich	bläulich f. roth
„	„	f. roth	f. roth	violetlich
„	„	gelb	orange	grau
„	„	grün	bläulich	bläulich
„	„	blau	violetlich	dunkelblau (schwach)

31. Gleichzeitigkeit mancher Objekte und Nachbilder. Zu-
ten bietet sich bei der Betrachtung eines blendenden Gegenstandes dem
re unvermerkt eine Projektionsfläche dar und erzeugt Nachbilder, welche
mit dem Objekte gleichzeitig beschauen.

Wenn z. B. die sich senkende Sonne über die oberen Spitzen von
chwerk oder überhaupt über einen dunklen Körper hinweg scheint,
ıss ihre Strahlen beim Eintritte in unser Auge diesen Körper streifen;
›reitet sich ein Strahlenschein vor diesem Körper, also vor einem dunk-
Hintergrunde aus. Dieser Hintergrund wirkt sofort als Projektions-
ıe für das durch den Strahlenschein geblendete Auge und demzufolge
mt dieser Schein konzentrische Farbensäume an, wovon der hellblaue
Sonnenscheibe zunächst liegt und der rothe am weitesten davon ab-
t.

**32. Besäumung des Objektes bei nicht ganz still gehaltenem
ge.** Wenn man das auf ein blendendes Objekt gerichtete Auge nicht
kommen still hält, umsäumt sich sowohl das Objekt, wie sein Hinter-
ıd mit einem Licht- oder Farbenrande, dessen Breite der Grösse
Augenbewegung entspricht, welchen man also nach Belieben schmal
breit werden lassen kann.

Dieser Saum ist nichts Anderes als ein Nachbild. Denn wenn der
k vom Objekte nach aussen sich bewegt, wird der Hintergrund zur
ektionsfläche für einen schmalen Streifen des Lichtbildes des Objektes,
umgekehrt, wenn der Blick sich nach innen bewegt, wird das Objekt
Projektionsfläche für einen schmalen Streifen des Lichtbildes des Hin-
rundes.

Auf diesen Rand oder Saum, welcher in der Regel eine lebhafte
ısität hat und ziemlich scharf begrenzt ist, folgt ein Licht- und
benschein, welcher das Objekt und auch den Hintergrund mit
acher Intensität und allmählicher Verschwimmung überzieht.

Die vorstehende Erscheinung entspricht ganz und gar den in No. 12
rochenen Rändern und Scheinen, welche sich beim Fixiren eines Ob-
s dem möglichst ruhig gehaltenen Auge darbieten. Denn eine voll-
ımene Ruhe des Auges ist nicht auszuführen: das Auge schwankt
zittert fortwährend ein wenig, erzeugt also stets einen schmalen
d der vorstehenden Art mit nachfolgendem Scheine.

33. Verblassung des Objektes bei anhaltender Blendung. Wir
hnen noch der Thatsache, dass wenn das Auge lange ein intensiv
dendes Objekt unverwandt anstarrt, Letzteres endlich an Intensität

verliert und an Farbe verblasst. So verdunkelt sich vor dem anstarren den Auge die Sonnenscheibe und es verblassen die Regenbogenfarben a den in sehr heller Luft liegenden Körperkanten, welche man durch da Prisma stark fixirt.

Jede Bewegung des Auges, jedes Blinken der Augenlider belebt di erschlaffenden Nerven wieder und ruft lebhaftere Licht- und Farbenersche nungen zurück. Stillhalten und Anstarren ist daher eine Bedingung fü ein möglichst rasches Verschwinden.

Ausserdem erzeugen sich, sowie man das Auge bewegt, sowie als den affizirten Nervenfasern sich Flächen von anderer Helligkeit und Farb darbieten, besondere farbige Ränder von grosser Lebhaftigkeit. Dieselbe sind den Regenbogenfarben, an welche sie sich anlehnen, komplementä und entsprechen den in No. 32 erwähnten Nachbildrändern.

Dass die Farben bei sehr starker Blendung in einer gewissen Rei henfolge verblassen, habe ich in meinem Auge nicht beobachten könne Ich würde es aber natürlich finden, wenn in schwächeren Augen be gleicher Intensität die Verblassung mit den violetten Strahlen anfing und mit den rothen aufhörte, da die ersteren die Konstitution der Ner vensubstanz am tiefsten anzugreifen scheinen, wenngleich die letzter diese Substanz am leichtesten erregen.

34. Erhöhung der Blendung durch scharfes Fixiren. Wi heben noch hervor, dass die Blendung umso stärker wird, je schärfe man das Objekt fixirt. Durch scharfes Anstarren kann also auch ei Objekt von geringer Helligkeit eine merkbare Blendung hervorbringen.

Andererseits wird das Nachbild umso vollkommener, je wenige man das geblendete Auge anstrengt oder je weniger man die geblen deten Fasern durch fremde Eindrücke zu einer bestimmten Thätigke nöthigt.

Durch scharfes Fixiren der Projektionsfläche, namentlich de etwa darin vorkommenden Figuren, vermindert man die Deutlichke und Intensität des Nachbildes und kann ein schwaches Nachbild dam ganz zerstören.

Beide Fälle lehren, dass man die direkte Wirkung des von eine Gegenstande ausgehenden Lichtes umso mehr zur physiologischen Geltun bringen und Nebenprozesse abhalten kann, je schärfer man den Gegen stand fixirt, d. h. mit je grösserer Kraft man die Organe durch die inner Nerventhätigkeit zur Aufnahme jenes Lichteindruckes befähigt.

35. Nachbild auf einer schlichten Projektionsfläche von de Farbe und Helligkeit des Objektes. Ausserdem erläutert das Vor stehende die Thatsache, dass wenn das Auge durch ein Objekt von ge wisser Figur, Farbe und Lichtstärke geblendet ist, eine schlichte Pro jektionsfläche, welche ganz dieselbe Farbe und Lichtstärk wie das Objekt hat, doch ein Nachbild erzeugen muss. Denn sowie da Auge sich von dem bestimmt figurirten Objekte abwendet, hört der vo der Figur und der kontrastirenden Umgebung des Objektes herrüh rende Reiz der betreffenden Nervenfasern auf, und die schlichte Pro jektionsfläche, auf welche man das Auge richtet, wird, selbst wenn

ı dieselbe scharf fixirt, noch mehr aber, wenn man dieselbe nicht ırf fixirt, wegen der verminderten Inanspruchnahme des Auges ein chbild zur Entstehung kommen lassen.

36. Wirkung der Gestalt des Objektes. Die Gestalt oder Fi- · eines Objektes ruft schon an sich vermöge der Verschiedenheit der ıspruchnahme der zu beiden Seiten der Grenzen des Netzhautbildes ɘnden Nervenfasern und vermöge der ganz speziellen Inanspruch- me derjenigen Fasern, welche die Grenzlinien selbst oder eigentliche Wesen der Figur zur Erkenntniss bringen müs- , eine Kontrastwirkung hervor, welche sich an folgender Erscheinung deutlich zeigt.

Wenn man an einem schmalen Körper vorbei auf einen entfernteren ergrund sieht; so trennen sich die den beiden Augen entsprechenden er und man sieht den Körper nach Fig. 507 doppelt. Jedes der bei- Bilder *A* und *B* ist durchsichtig; allein an allen Stellen nicht in hem Grade: die Grenzlinien markiren sich sehr deutlich als fast ırchsichtige Streifen und die Durchsichtigkeit nimmt von diesen Gren- allmählich zu.

Ist der Körper so breit, dass sich die Doppelbilder zum Theil decken; ıildet sich nach Fig. 508 auf den sich deckenden Stellen ein völlig

Fig. 507.



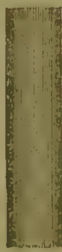


Fig. 508.



ırchsichtiges Objekt, welches rechts und links von den durchsichtigen fen *A* und *B* begrenzt ist. Diese Streifen sind ebenfalls an den ɘren Grenzen deutlich markirt und fast undurchsichtig, und erlangen vollständigere Durchsichtigkeit erst gegen den mittleren Kern hin.

Während die Doppelbilder *A* und *B* an den Grenzen am undurch- igsten und kräftigsten erscheinen, erscheint der Hintergrund des ktes an jenen Grenzen am wenigsten sichtbar und am schwächsten.

Wir wissen aus §. 13, dass bei vorstehendem Experimente, wo zwei ɘspondirende Netzhautstellen verschiedene Lichteindrücke empfan- bald der eine, bald der andere vorwiegt, sodass man an einer solchen e bald das Objekt, bald den Hintergrund sieht. Dass aber an den nzen der Bilder sich ein möglichst kräftiger und stabiler Eindruck ;, wird wesentlich durch die daselbst stattfindende plötzliche Ände- · der optischen Verhältnisse oder durch den Kontrast zwischen dem der einen Seite gleichförmig sich erstreckenden Hintergrunde und auf der anderen Seite sich dem Blicke mit darbietenden Objekte verschiedener Farbe und Entfernung bedingt.

37. Körperlichkeit der Nachbilder. Die Nachbilder erscheine wenn sie vollkommen sind, nicht bloss als ebene Projektionen d Objekte, von welchen sie erzeugt sind, sondern körperlich wie jene O jekte selbst und in der Form, Grösse und Entfernung derselbe überhaupt als Abbilder jener Objekte. Allerdings weicht die Körperlic keit, die Form, die Grösse und die Entfernung von der wirklichen d Objektes mehr oder weniger ab: allein wenn das Nachbild scharf gen ist, erkennt man deutlich, dass die Abweichung nur eine graduelle dass aber, abgesehen von der Genauigkeit, jede optische und geometrisc Eigenschaft des Objektes im Nachbilde sich wiederspiegelt.

Es ist beachtenswerth, dass die stereometrischen Verhältnisse d Nachbildes bei dem Abklingen und namentlich bei dem Übergange vo positiven zum negativen Zustande sich nicht in die entgegengesetzt verwandeln, dass also bei diesem Übergange ein konkaver Körper nic konvex oder von zwei in verschiedenen Entfernungen liegenden Körpe nicht der nähere der entferntere wird. Es ändern sich zwar bei diese Übergange die absoluten Dimensionen etwas, insbesondere scheint d heller werdende auch näher zu rücken: allein im Ganzen bleiben doch den Grundzügen die natürlichen Ortsverhältnisse bestehen.

38. Beweglichkeit der Nachbilder. Schliesslich ist zu erwähne dass die Nachbilder meistens nicht an einem festen Orte verharren, so dern sich nach irgend einer Richtung fortbewegen, sodass man gezwung wird, ihnen mit den Augen zu folgen. Die Richtung dieser Bewegung nicht immer dieselbe und häufig wogt das Nachbild nach zwei entgege gesetzten Seiten des Gesichtsfeldes zwischen gewissen Grenzlagen hi undher.

§. 67.

Erklärung der Nachbilder und des Abklingens der Farbe

1. Unmittelbare Folgen der Blendung. Mit Hülfe der Betrac tungen des §. 65 versuchen wir jetzt die Erklärung der Nachbilder geben.

Wenn der Sehnerv durch eine Lichtwirkung stark angegriffe oder geblendet, also in einen ähnlichen Zustand wie ein stark ang spannter Muskel versetzt, mithin in seiner organischen Konstitution me oder weniger beschädigt ist; so sind drei Folgen dieses Vorganges von b sonderer Wichtigkeit für unsere Untersuchung: erstens, die Schwächun des Nerven in Folge der mit jeder Thätigkeit verbundenen in §. 65 No. 1 besprochenen und bei grosser Anstrengung ein Übermaass erreichenden S kretion; zweitens die durch die sensuelle Thätigkeit induktorisch erreg Thätigkeit der Ernährungsnerven, welche den mit jener Thätigkeit ve bundenen Stoffwechsel oder Chemismus beherrschen und die eingele tete Sekretion stets viel länger aufrecht erhalten, als die rasch vorübe gehenden Ätherschwingungen der sensuellen, sensibelen, motorischen un

tigen Impulse, durch welche jener Stoffwechsel hervorgerufen wurde, ern; drittens, die mit der letzteren Thätigkeit eng verknüpfte, aber ein eres Stadium davon bildende organische Reaktion, welche unmittelbar Wiederherstellung der eingetretenen Beschädigung oder die Umlung zu dem normalen Zustande bezweckt und ähnlich wie die Pee der Rekonvaleszenz als zweites Stadium jeder Krankheit ntlich in Assimilation besteht. Bei normalem oder ungestörtem aufe bildet jene Sekretion die erste und diese Assimilation die te Periode der Erscheinung; in Folge von inneren und äusseren Stögen können jedoch intermittirende Wechsel eintreten, die Heilung kann rbrochen werden und nochmals in Sekretion umschlagen; es kann ein kfall eintreten. (Vergl. §. 74 und meine Schrift „Körper und st").

2. **Negatives Nachbild eines weissen Objektes.** Angenommen eine gewisse Zahl von Fasern des Sehnerven werde durch weisses t geblendet, indem darin der Lichtchemismus in seiner ganzen Volldigkeit, d. h. für alle physiologisch wirksamen Farben erregt wird. e Blendung wird dadurch veranlasst, dass ein sehr helles Lichtbild die in der Netzhaut liegenden Enden der fraglichen Fasern fällt. Die gebung dieses Lichtbildes ist selbstverständlich dunkler als das tbild: denn sonst erstreckte sich ja die Blendung auf eine grössere von Fasern. Ein helles Bild auf dunklem Grunde ist also die bedingung der Blendung. Der Grad der Blendung hängt aber nicht n von der absoluten Helligkeit des Lichtbildes ab, sondern ist möge unseres Kontrastgesetzes (§. 34) durch das Verhältniss der igkeiten des Lichtbildes und des Hintergrundes wesentlich mit mgt. Ein Lichtbild von mässiger Helligkeit kann also schon eine erliche Blendung erzeugen, wenn der Hintergrund sehr dunkel ist.

Vermöge des Kontrastgesetzes wird hiernach in der Fläche des hellen htbildes ein stärkerer und in der Fläche des dunklen Hinterndes ein schwächerer Lichtchemismus erweckt, als den absoluten gkeitsgraden beider Flächen entsprechen würde.

Fällt jetzt auf die geblendeten Fasern des hellen Lichtes und auf nicht geblendeten, vielmehr geschonten Fasern der dunklen Umng ein gleichmässig helles Licht; so werden die geblendeten rn vermöge der erlittenen Schwächung schwächer, die geschonten rn dagegen stärker auf diese Lichtwirkung reagiren, als Fasern im öhnlichen Zustande es thun würden. Demgemäss entsteht n Blicke des durch ein helles Objekt geblendeten Auges eine helle Fläche ein negatives Nachbild, in welchem Objekt dunkel und die Umgebung hell erscheint.

3. **Positives Nachbild eines weissen Objektes.** Entfernen dagegen jeden Lichtreiz von dem geblendeten Auge; so wird der in geblendeten Fasern induktorisch eingeleitete Sekretionsprozess eine Zeit lang fortdauern und die Sehnervenfasern in einer der urnglichen nahe kommenden Licht- oder Sehthätigkeit erhalten, ch wie in einem stark angespannten Muskel vermöge des erzeugten

Sekretionsprozesses das Gefühl der Anstrengung und das motorische Zi-tern nachdauert. Hiernach wird in dem geschlossenen und gu verdeckten Auge oder auch beim Blicke auf eine schwarz Fläche ein positives Nachbild entstehen, bei welchem das Ob-jekt hell und die Umgebung dunkel erscheint.

4. Übergang des positiven in ein negatives Nachbild. Diese Zustand der Fortsetzung der eingeleiteten Sekretion erreicht jedoch, w ein Krankheitsprozess, seine Kulmination: denn er ist, wie jede Krank-heit, nur der Ausdruck des Bestrebens des Organismus, eine empfangen Beschädigung wieder auszubessern, wozu eine gewisse Sekretion erforder-lich ist, welche das beschädigte Organ gewissermaassen soweit locker, dass dasselbe sich zu der normalen Beschaffenheit wieder *umbilden* kann. Diese *Umbildung*, die eigentliche *Rekonvaleszenz* ist die au die fragliche Kulmination der Sekretion, auf die *Krisis* folgende *zweit* *Periode*. In dieser Periode wird also der normale Zustand wiederher-gestellt (vergl. §. 74).

Die durch Blendung erzeugte Abnormität des Sehnerven besteht nu wesentlich in dem *Verluste gewisser Stoffe*. Als ein wesentliches Be-dürfniss der Rekonvaleszenz muss also die *Assimilation* dieser Stoff angesehen werden. Abstossung und Anziehung, als zwei entgegengesetzt Thätigkeiten, werden auch entgegengesetzte physiologische Effekte hervor-bringen. Man kann daher annehmen, dass während die Sekretion gewisse Stoffe eine Lichterscheinung hervorbringt, d. h. den Lichtprozess hervorruft die Assimilation derselben Stoffe nicht allein keine Lichterscheinung erzeugt sondern den durch andere Ursachen erregten Lichtprozess *schwächt*. Solche lichterzeugenden Ursachen walten aber in Folge der gewöhnlichen Blut und Lebensthätigkeit des Organismus immer ob; absolute Finsterniss herrscht im Auge nie: die fragliche *Assimilation* wird also immer de Effekt der *Verdunklung* selbst bei geschlossenem Auge haben.

Aus Vorstehendem geht hervor, dass im geschlossene Auge oder bei dem Blicke gegen eine schwarze Fläche da ursprünglich positive oder helle Nachbild eines helle Objektes erst an Intensität wachsen, sodann herabsinken endlich aber in ein negatives oder dunkles Nachbild umschla-gen wird.

5. Nachbild eines dunklen Objektes. Was die Veränderung de dunklen Nachbildes eines dunklen Objektes oder eines dunklen Hinter-grundes betrifft; so erscheint dieser Hintergrund, solange er sich in de positiven Periode befindet, nur vermöge der *Kontrastwirkung* dunk-ler als er ist: ebenso erscheint derselbe aber auch bei dem Übergange i die negative Periode vermöge der *Kontrastwirkung heller* als e ist, insbesondere viel heller als das sich verdunkelnde Hauptobjekt, als relativ hell. Diese Kontrastwirkung ist durch das Gesetz in §. 34 be-gründet. Die Anwendung davon auf den vorliegenden Fall ist die, das während die Sekretion in Assimilation umschlägt und das bis dahin hell *Hauptobjekt* sich *verdunkelt*, diejenige Lichtthätigkeit, welche vo der organischen Thätigkeit des Blutes und überhaupt von der Lebensthä

eit des Organismus sowohl im Auge, wie im Gehirne fortwährend unalten, auch von dem durch die Augenlider eindringenden Lichte er-:t wird, da ihr jetzt der Weg in die Nervenfasern des Hauptobjekversperrt wird, sich auf die des umliegenden Hintergrundes konrirt, also den bis dahin dunklen Hintergrund, namentlich an Grenzen des Hauptobjektes, aufhellt.

Hiernach geht also beim Blicke auf eine schwarze Fläche positive Nachbild endlich in ein negatives über, indem die en Flächen dunkel und die dunklen hell werden.

6. Erlöschen der Nachbilder auf heller Projektionsfläche. die auf einer hellen Projektionsfläche entstehenden Nachbilder nicht so wie die auf einer dunklen entstehenden eine Umkehrung erlei-sondern in stetiger Abnahme allmählich verschwinden, erklärt sich t. Die Nervenfasern des ursprünglich hellen Hauptobjektes, welche der hellen Projektionsfläche das dunkle Nachbild erzeugen, sind die Blendung geschwächt, d. h. es ist in ihnen eine stärkere rretion bewirkt und sie sind dadurch für fernere Lichtreize weniarbeitsfähig geworden, als die Fasern des Hintergrundes. Durch beim Blicke auf eine helle Projektionsfläche in das Auge gete, über das Hauptobjekt und den Hintergrund sich gleichmässig ver-ende Licht wird also in den leitungsunfähiger gewordenen Fasern Hauptobjektes, obgleich darin die durch den früheren Impuls des ptobjektes eingeleitete Sekretion noch fortdauert und eine subjektive tempfindung bewirkt, doch durch den Impuls der hellen Projeksfläche eine weniger starke Lichtthätigkeit hervorgerufen, als in ungeschwächten oder reaktionsfähiger gebliebenen Fasern des Hinterdes. Da die letztere Wirkung die erstere überwiegt; so erscheint im bilde auf der hellen Projektionsfläche das Hauptobjekt dunkel und Hintergrund hell. Da wir eine Projektionsfläche von mässiger gkeit voraussetzen, welche an sich nicht blendend wirkt, wenigstens Erholung der geschwächten Fasern nicht hindert; so tritt diese llung allmählich ein. Diese Erholung kann nicht vollständig sein, ja vermöge der hellen Projektionsfläche fortwährend ein Lichtreiz indet. Das im verdunkelten Auge späterhin eintretende zweite um der Assimilation kann je nach der Helligkeit der Projektions- entweder gar nicht eintreten oder doch sich nicht vollenden. Immer selbst wenn dieses zweite Stadium eintritt, bleiben die früher geleten Fasern schwächer als die anderen: das Nachbild behält also Helligkeitsunterschiede und erlischt damit allmählich. Das Ver-nden des Nachbildes auf heller Projektionsfläche lässt das Auge in anderen Zustande zurück, als das Verschwinden des Nachbildes auf kler Fläche. Im ersteren Falle bleibt das Gesammtauge oder das Gesichtsfeld geschwächter, angegriffener, in seinem ganzen Getsfelde mehr geblendet, als im letzteren Falle, aus welchem das gewissermaassen geheilt oder normal hervorgeht.

7. Einfluss der Helligkeit des Objektes und der Projektionsre. Über die Länge der zur Aufhebung der ungleichmässigen Affek-

tion der Sehnervenfasern erforderlichen Zeit kann man sich täusch Die Differenz zwischen der Helligkeit des Hauptobjektes und des Hint grundes kann so schwach geworden sein, dass man dieselbe nicht deutl mehr wahrnimmt: gleichwohl kann die Verschiedenheit der Reizbark noch so gross sein, dass vermehrte oder veränderte Lichtreize sofort l hafte Kontrasterscheinungen oder Nachbilder wiederum hervorrufen.

Bei sehr starken Blendungen kann die organische Beschaffenheit wisser Fasern so sehr verändert sein, dass die Heilung Wochen und M nate in Anspruch nimmt; dass also die Nachbilder lange Zeit im Au haften: ja durch übermässige Lichtaffektion kann eine unheilbare V änderung entstehen.

Ist die helle Projektionsfläche äusserst leuchtend, also sta blendend; so wird der durch eine vorhergehende schwache Blendu gewisser Fasern entstehende Unterschied der Reaktionsfähigkeit durch bedeutende Gesammtaffektion aller Fasern so rasch und bedeutend üb wältigt, dass man das Nachbild nur unvollkommen wahrnimmt und st dessen durch die Projektionsfläche selbst auf dem ganzen Gesichtsfe eine intensive Blendung erleidet.

Andererseits ist klar, dass um ein positives, resp. ein negatives Na bild zu erzeugen, die Projektionsfläche nicht gerade absolut dunkel, re über die Maassen hell zu sein braucht, dass vielmehr ein gewisser v der Lichtstärke des blendenden Objektes abhängiger, also sehr rel tiver Grad von Lichtstärke der Projektionsfläche hierzu ausreichend u erforderlich ist, sodass dieselbe Projektionsfläche bald die eine, bald andere Wirkung hervorbringen kann. Denn die geschwächten Fasern holen sich nicht bloss bei absoluter Ruhe, sondern auch bei gen gender Schonung oder genügender Ermässigung des Angriffes, wen auch langsamer: ausserdem versagen solche angegriffenen Fasern ihr Dienst wesentlich erst dann, wenn ihnen eine zu bedeutende Anstr gung zugemuthet wird, wogegen sie bei mässigen, ihrer Schwächu angemessenen Impulsen ihre Funktion ziemlich normal zu verricht vermögen.

8. Nachbild eines farbigen Objektes auf heller Projektion fläche. Im Vorstehenden finden die wesentlichen Eigenschaften d Nachbilder, welche wir im §. 66 kennen gelernt haben, ihre Erklärun es handelt sich jetzt nur noch um eine nähere Ausführung in Beziehu auf die Farbenerscheinungen und einige Nebenumstände.

Hinsichtlich der Farben nehmen wir auf die in §. 65 entwickelt Ansichten Bezug, nach welchen dem physiologischen Prozesse jeder beso deren Farbe ein besonderer Chemismus zu Grunde liegt, in den Sekret der Nervensubstanz bei jeder besonderen Farbenempfindung also ein beso derer Stoff oder eine besondere Stoffverbindung die Hauptrolle spie

Durch das weisse Licht werden alle hierbei in Frage kommend Stoffe aufeinmal ausgeschieden. Der hierdurch affizirte Nerv hat also sp terhin das Bestreben alle jene Stoffe wieder zu assimiliren. Die Au scheidung aller jener Stoffe entspricht einer vollständigen Hinwe nahme solcher Massentheilchen der Nervensubstanz, deren chemische Th tigkeit überhaupt bei der Lichtwirkung in Betracht kömmt. Eben

ingt die Assimilation aller jener Stoffe eine vollständige Erzung solcher Theilchen. Es handelt sich also in beiden Fällen nur um quantitative Veränderung der fraglichen Theilchen, nicht um eine alitative, und Diess bedingt die vorhin erläuterten Erscheinungen Licht und Lichtmangel, von Helligkeit und Dunkelheit.

Wird dagegen eine Nervenfaser in die einer bestimmten Farbe entechende Thätigkeit versetzt; so scheiden sich nur gewisse Stoffe aus: Moleküle behalten diejenigen Stoffe, welche sich mit den ausgeschiedezu der Substanz eines vollständigen Theilchens ergänzen. Die letzn, die zurückbleibenden Stoffe sind also diejenigen, deren Ausscheig die Komplementärfarbe erzeugen würde. Mit diesen Stoffen bt die Nervenfaser gewissermaassen überladen, weil dieselben keine llständigen Moleküle bilden und es ist eine qualitative Änderung Nervensubstanz entstanden; diese Nervenfaser ist vorzugsweise in Beaung auf die erste Farbenwirkung, welche eine Sekretion der erstgehten Stoffe bedingt, geschwächt oder geblendet.

Fällt daher in das so geblendete Auge ein gleichmässig weisses Licht, ein Licht, welches ausser der Blendfarbe auch deren Komplement hält; so werden die geblendeten Fasern, welche für die Blendfarbe gewächt sind, auf diese Farbe weniger stark reagiren, als die umgeben- Fasern, d. h. die Umgebung des Nachbildes wird einen Anflug der ndfarbe zeigen. Dagegen werden die für eine gewisse Farbe geblenen Fasern auf die Komplementärfarbe stärker reagiren, als die Fa- der Umgebung: denn die ersteren Fasern sind in Beziehung auf jene be nicht bloss geschont, sondern ihre Substanz ist mit den Stoffen rfüllt, welche der Komplementärfarbe entsprechen. Diese Überlagsstoffe können zu den normalen Theilchen nur eine geringere, als die male Anziehung haben: es ist in den affizirten Fasern ebenso wohl die gung gewachsen, bei dargebotener Gelegenheit die verlorenen Stoffe assimiliren oder die Überladungsstoffe abzustossen. Beides pricht der Empfindung der Komplementärfarbe. Das Nachbild Hauptfigur wird also auf heller Projektionsfläche in komplementer Farbe oder negativ erscheinen.

9. Nachbild eines farbigen Objektes auf schwarzer Projeknsfläche. Beim Blicke auf eine schwarze Projektionsfläche oder bei schlossenem Auge, d. h. bei der Entfernung jedes Lichtreizes, wird egen der in den stark affizirten Fasern induzirte Sekretionsprozess h eine Zeit lang fortdauern, oder die ursprüngliche Lichtempfindung erhalten, d. h. es wird ein positives Nachbild erscheinen.

Sobald dieser Zustand seine Kulmination überschritten hat, tritt der tand der Heilung ein, in Folge dessen theils die früher abgestossenen ffe wieder angezogen, theils die bei der Zerlegung der Nervensubstanz ückgebliebenen, also weniger stark haftenden oder das Organ überladen Stoffe mit ausgeschieden werden. Diess erzeugt die Empfindung komplementären Farbe. Das positive Nachbild geht also dlich in ein negatives über.

10. Nachbild eines Objektes auf farbiger Projektionsfläche. rnach wird man sich nun leicht den Vorgang erklären können, welcher

entsteht, wenn die Projektionsfläche weder weiss noch schwarz, sonde von einer beliebigen Farbe ist.

Trägt die Projektionsfläche dieselbe Farbe wie das Objekt, u unterscheidet sie sich davon nur durch die Intensität; so wird d Nachbild sich ebenfalls nur durch die Lichtstärke von dem Objekte unt scheiden. Dasselbe wird umso dunkler und schliesslich fast schwa werden, je heller die Projektionsfläche ist, und umso heller, je dunk diese ist. Das letztere helle Nachbild geht jedoch allmählich ebenfalls ein dunkles über.

Trägt die Projektionsfläche eine vom Objekte so sehr verschi dene Farbe, dass beide kein einfaches Farbenelement gemein habe so wird beim Blicke auf jene Fläche der vom Hauptobjekte eingeleit Farbenprozess spezifisch fortdauern und nur durch die allgemei Helligkeitsveränderung graduell modifizirt werden. Ebenso wird d Farbe der Projektionsfläche zur Geltung kommen, weil die Sehnerv für diese Farbe nicht geblendet sind. Die Farbe des Nachbildes wi sich also anfangs aus denen des Objektes und der Projektionsfläche z sammensetzen. Allmählich erlischt jedoch die vom Hauptobjek induzirte Sekretion und verwandelt sich in ihr Gegentheil; die Farbe d schliesslich entstehenden Nachbildes setzt sich also aus der Komp mentärfarbe des Objektes und der wirklichen Farbe der Projektionsfläc zusammen.

Haben nun die Farben des Objektes und der Projektionsfläche no gewisse einfache Farbenelemente gemein; so wirken die verschieden Elemente wie soeben erläutert ist und die gleichen wie vorhin gezei ist, nämlich so, dass für die gleichen Farbenelemente in dem definit auftauchenden, konstant bleibenden Nachbilde Verdunklun eintritt, während die verschiedenen Farbenelemente des Haupto jektes die komplementäre Farbe erzeugen und die der Projektion fläche ihre wirkliche Farbe beibehalten.

Ist hiernach f die Farbe des Objektes und φ die Farbe der Pr jektionsfläche, und bezeichnet k die Komplementärfarbe der Far f des Objektes; so setzt sich die Farbe des Nachbildes aus den beid Farben φ und k zusammen. In dieser Zusammensetzung variirt nur di Intensität des Zusatzes k: dieselbe ist umso kleiner, je näher die beid Farben f und φ einander liegen und umso grösser, je entfernter dieselb voneinander in dem kreisförmigen Spektrum (§. 65 No. 23) liegen. Sin f und φ einander gleich; so ist der Antheil $k = 0$, d. h. das Nachbi der Farbe f auf einer gleichfarbigen Projektionsfläche hat die Farbe dieser Fläche oder des Objektes. Ist φ komplementär zu f, also $=$ so ist der Antheil k am grössten und die Farbe des Nachbildes beste aus zwei Theilen, welche beide die Farbe k haben, ist also gleich d Komplementärfarbe des Objektes oder gleich der Farbe der Pr jektionsfläche. So erzeugt z. B. ein grünes Objekt auf rother Proje tionsfläche ein rothes Nachbild und ein orangenes Objekt auf blauer Pr jektionsfläche ein blaues Nachbild u. s. w.

Nach Vorstehendem kann man die Farbe F des Nachbildes dur die Formel

$$F = \varphi + xk$$

itellen, worin x einen variabelen Koeffizienten bezeichnet, dessen Werth dem Abstande der beiden Farben f und φ im Spektrum von 0 bis zu em Maximum wächst. Als Maximalwerth von x kann eine zwischen ıd 1 liegende Zahl gedacht werden, welche jedoch den Werth $1/2$ nicht blich übersteigen wird.

Aus der Formel $F = \varphi + xk$ erklären sich alle in §. 66 No. 24 26 mitgetheilten Erscheinungen. Ist z. B. die Farbe f des Objektes ı und die Farbe φ der Projektionsfläche Roth; so ist die Komplemenırbe von f oder die Farbe k Violet; mithin ist Farbe $\varphi + xk$ des hbildes aus Roth und Violet mit überwiegendem Roth zusammenget, folglich Violetroth oder Blauroth.

Übrigens ist zu bemerken, dass bei der Bestimmung der Komplemenırbe und bei der Bestimmung des Effektes der Zusammensetzung der ɔen φ und xk die physiologische Wirkung der Farben nach 5 No. 23 und 24 zu berücksichtigen ist; auch hat man bei einer speen Prüfung der in §. 66 No. 24 und 26 mitgetheilten Beobachtungen ɔeachten, dass die dort gewählten Papierfarben nicht ganz rein sind.

11. **Kontrastwirkung zwischen Objekt und Hintergrund.** Die hselwirkung zwischen Objekt und Projektionsfläche wird übrin allen Fällen mehr oder weniger modifizirt durch die Kontrastkung, welche zwischen dem Ojekte und dessen Umgebung so im Hauptbilde, wie im Nachbilde stattfindet. Diese Wirkung ist nach rem mehr erwähnten Kontrastgesetze zu beurtheilen (vgl. §. 34 und 37). den nämlich alle Fasern des Sehnerven von einer gewissen Farbe ırt, blicken wir also auf eine so grosse gefärbte Fläche, dass das ganze chtsfeld von dieser Farbe erfüllt ist; so erscheint uns dieselbe allenten in gleichmässiger und nahezu richtiger Helligkeit. Beschränken wir das Gesichtsfeld auf einen gewissen Theil der Nervenfasern, während Übrigen unthätig bleiben, d. h. blicken wir auf einen in schwar- Grunde liegenden Fleck von jener Farbe; so konzentrirt die subjektive Gehirnthätigkeit auf eine geringere Nervenmasse, eine Erhöhung der subjektiven Empfindung zur Folge hat. Die e erscheint heller und der Hintergrund dunkler. Allein es ist nicht ıtlich oder ausschliesslich der Gegensatz von hell und dunkel, welcher auftritt, nicht bloss die Veränderung der Quantität der Nerventhäit, sondern auch die Veränderung der Qualität (§. 34 No. 6). Denn en Fasern, welche dem Hintergrunde des Objektes entsprechen, wird Nerventhätigkeit vorzugsweise für die bestimmte Farbe des Obs unterdrückt. Für die Komplementärfarbe sind diese Fasern t geschwächt: werden dieselben also allgemein zur Sehthätigkeit angt; so werden sie auf die Farbe des Objektes schwach und auf die lementäre gut reagiren. Vermöge der allgemeinen Nerventhätigkeit des allgemeinen Lichtreizes, in Folge dessen in allen Fasern des Sehen eine gewisse Thätigkeit herrscht, wird also der schwarze Hinterd einen Anflug der Komplementärfarbe des Objektes annehmen.

Diese komplementäre Farbe des Hintergrundes wird umso stärker en, je heller der Hintergrund wird, weil alsdann die denselben bedie-

nenden Fasern umso stärker angeregt werden. Der weisse Hintergru eines rothen Fleckes erscheint hiernach grünlich.

Hat der Hintergrund selbst eine gewisse Farbe; so wirken Obje und Hintergrund gegenseitig aufeinander nach dem allgemeinen Kontras gesetze und modifiziren ihre Farben.

Ebendasselbe was in dieser Hinsicht von einem Objekte und seine Hintergrunde gilt, findet auch Anwendung auf das Nachbild, welch sich von einem solchen Objekte nebst Hintergrund bildet. In den meist Fällen sind daher die Farben des Objektes und des Hintergrundes i Nachbilde nahezu komplementär gefärbt, und wenn die Farbe des Ein wechselt, wechselt auch die des Anderen. Namentlich muss sich dies Gegensatz an den Grenzen des Objektes und seines Hintergrundes gelte machen und farbige Ränder von komplementärer Färbung a Beiden erzeugen.

Die Farbenwirkung des Hintergrundes lässt sich folgendermaass durch Formeln ausdrücken. Wenn f die Farbe des Objektes und f' d des Hintergrundes, ferner φ die der Projektionsfläche ist, wenn ferner k', $\varkappa$ resp. die Komplementärfarben von f, f', φ sind und w Weiss bede tet; so bewirkt schon der Kontrast bei der Fixirung des aus O jekt und Hintergrund bestehenden Gesichtsfeldes, dass die Far des Objektes etwas von der Komplementärfarbe des Hintergrundes au nimmt, also zu $f + m\,k'$ wird, wogegen die Farbe des Hintergrund etwas von der Komplementärfarbe des Objektes aufnimmt, also $f' + n\,k$ wird. Hierin bezeichnen m und n echte Brüche, sodass m und $n\,k$ mässige Mengen der Farben k', k darstellen. Die Werthe v m und n sind variabel und durch die Intensität des Kontrastes zwisch Objekt und Hintergrund, welcher theils von dem Farbenunterschie theils von dem Grössenunterschiede abhängt, bedingt.

Im Nachbilde, welches sich auf der Projektionsfläche von der Far φ erzeugt, verwandelt sich nun nach No. 10 die Farbe $f + m\,k'$ des O jektes in eine andere, welche sich aus der Farbe φ der Projektionsfläc und der Komplementärfarbe des Objektes zusammensetzt. Da die letzte Komplementärfarbe offenbar $= k + m\,f'$ ist; so nimmt das Nachbild d Objektes die Farbe $\varphi + x\,(k + m\,f')$ an. Ebenso nimmt das Nachbi des Hintergrundes die Farbe $\varphi + y\,(k' + n\,f)$ an. In diesen Forme variiren die Zahlen x und y je nach dem Spektralabstande der Farben und f, resp. der Farben φ und f' von 0 bis zu ihrem Maximalwerthe.

Jetzt ist noch der Kontrast im Nachbilde zu berücksichtige Derselbe bewirkt, dass das Objekt von der Farbe $\varphi + x(k + mf$ etwas von der Komplementärfarbe des Hintergrundes $\varphi + y\,(k' + n$ annimmt. Die letztere Komplementärfarbe ist $\varkappa + y\,(f' + n\,k)$; folgli wird die Farbe des Objektes, indem r einen echten Bruch bezeichne $\varphi + x\,(k + mf') + r\,[\varkappa + y\,(f' + n\,k)] = \varphi + r\varkappa + (x + rny)$ $+ (mx + ry)\,f'$.

Da $\varphi + \varkappa$ weisses Licht w darstellt; so kann man $\varphi + r$ $= (1 - r)\,\varphi + r\,w$ setzen. Die Formel für die Farbe des Objektes i Nachbilde ist also

$$F = (1 - r)\,\varphi + (x + rny)\,k + (mx + ry)\,f' + rw$$

in derselben Weise findet sich für die Farbe des Hintergrundes n auch s einen echten Bruch bezeichnet,

$$F' = (1 - s)\,\varphi + (y + s\,m\,x)\,k' + (n\,y + s\,x)\,f + s\,w$$

Abstrahirt man von dem Abhängigkeitsgesetze, welches zwischen den ebenen Farben und den Zahlen x, y, m, n, r, s besteht und statuirt nur, x und n echte Brüche seien, ohne dass jedoch in den einzelnen Glieder nachstehenden Formeln unter x oder unter n stets derselbe th zu verstehen sei; so ist das allgemeine Schema oder die Nähegsformel für die Farben des Objektes und des Hintergrundes im hbilde

$$F = \varphi + x k + n x f' + n w$$
$$F' = \varphi + x k' + n x f + n w$$

Man sieht, die Gesammtwirkung des Kontrastes zwischen Objekt Hintergrund im wirklichen Gesichtsfelde und im Nachbilde besteht , dass die ohne Kontrast stattfindende Farbe des Objektes im bilde, welche nach No. 10 $= \varphi + x k$ gefunden ist, sich mit einem eile der Farbe f' des wirklichen Hintergrundes und mit etwas ss mischt, während sich die ohne Kontrast stattfindende Farbe des ergrundes im Nachbilde, welche $= \varphi + x k'$ sein würde, sich mit n Antheile der Farbe f des wirklichen Objektes und mit etwas ss mischt.

Liegt also z. B. ein gelbes Objekt auf blauem Hintergrunde und ist rojektionsfläche roth; so hat man $f =$ Gelb, $f' =$ Blau, $\varphi =$ Roth, Violet, $k' =$ Orange. Fände kein Kontrast statt; so würde im Nach- das Objekt $\varphi + x k =$ Violetroth und der Hintergrund $\varphi + x k' =$ geroth. In Folge des Kontrastes mischt sich zur Farbe des Objektes $n x f' + n w =$ Weissblau, sodass dasselbe weisslich Blauroth während sich zur Farbe des Hintergrundes etwas $n x f + n w =$ gelb mischt, wodurch dieselbe weisslich Gelbroth wird.

Hieraus erklären sich nun alle in No. 27 und 30 des vorstehenden raphen mitgetheilten Erscheinungen. Was zunächst die aus No. 27 be- so hat darin das Objekt und die Projektionsfläche gleiche Farbe; also $f = \varphi$, mithin $k = \varkappa$ und nahezu $x = 0$. Hierdurch wird Farbe des Objektes im Nachbilde nach der genaueren Formel $(1 - r)\,\varphi + r\,n\,y\,\varkappa + r\,y\,f' + r\,w$. In dieser Formel ist $y = 0$, die Farbe f' des Hintergrundes gleich der Farbe φ der Projektions- ist, und y nimmt seinen Maximalwerth an, wenn die Farbe f' des rgrundes gleich der Komplementärfarbe $\varkappa$ der Projektionsfläche ist. Im en Falle, wenn also $f' = \varphi = f$, also $y = 0$ ist, wird $F = (1 - r)\,\varphi$ w und da man jetzt auch wegen mangelnden Kontrastes $r = 0$ hat, φ, d. h. das Objekt hat im Nachbilde die Farbe φ der Projektions- oder seine eigene natürliche Farbe. Im zweiten Falle jedoch, wo $\varkappa = k$ ist und y seinen Maximalwerth annimmt, hat man $(1 - r)\,\varphi + r\,y\,(1 + n)\,f' + r\,w$. Da nun jetzt wegen der möglichen Kontrastwirkung r und n ihre Maximalwerthe annehmen; rd der Koeffizient $r\,y\,(1 + n)$ den Koeffizienten $1 - r$ über- , die Formel $F = \alpha\,\varphi + \beta f' + r w = \alpha\,\varphi + \beta\,\varkappa + r w$ $\varphi + \varkappa) + (\beta - \alpha)\,\varkappa + r w = (\beta - \alpha)\,\varkappa + (\alpha + r)\,w = (\beta - \alpha)\,f' +$

$(\alpha + r)\,w$ bezeichnet also ein mit der Farbe f' des *Hintergrund* gemischtes Weiss oder Grau.

Wenn die Farbe f' des Hintergrundes Weiss oder Grau oder Schwa also $f' = w$ ist, hat man $F = (1 - r)\,\varphi + r n y\, \varkappa + t w$. Jetzt wi meistens der Koeffizient $1 - r$ den Koeffizienten $r n y$ übersteigen, m wird also $F = \alpha \varphi + \beta \varkappa + t w = (\alpha - \beta)\,\varphi + (\beta + t)\,w$ hab d. h. das Objekt wird in der mit Weiss gemischten Farbe der *Proje tionsfläche* erscheinen.

Alle diese Resultate stimmen mit den Beobachtungen in §. 66 No. überein.

Ebenso ergeben sich die daselbst in No. 30 erwähnten Erscheinung für die verschiedenen möglichen Werthe der drei Farben f, f' und φ. Trä z. B. die Projektionsfläche die *Komplementärfarbe* des Objektes, ist a $\varphi = k$; so wird die Farbe des Objektes im Nachbilde nach der genauen Formel $F = (1 - r + x + r n y)\,\varphi + (m x + r y)\,f' + r w$. Hie hat x fast seinen Maximalwerth: das Nachbild des Objektes wird also der Farbe der *Projektionsfläche*, gemischt mit einem Antheile d Farbe f' des wirklichen *Hintergrundes* erscheinen.

Ist gleichzeitig die Farbe der *Projektionsfläche* und die *Hintergrundes komplementär zur Farbe des Objektes*, a $\varphi = f' = k$; so wird die Farbe des Objektes im Nachbilde $F = (1 - r$ $x + r n y + m x + r y)\,\varphi + r w$. Jetzt erreichen die beiden Zahlen und y ihr Maximum, die Zahl r dagegen wird, weil im Nachbilde Farben des Objektes und des Hintergrundes nahezu gleich werd also nur einen unbedeutenden Kontrast ausüben, fast $= 0$; man hat a nahezu $F = (1 + x + m x)\,\varphi$, d. h. das Objekt erscheint im Nachbi möglichst rein und kräftig in der Farbe der *Projektionsfläche*. wird im Nachbilde ein weisses Objekt am dunkelsten erscheinen, w sein Hintergrund und die Projektionsfläche beide schwarz sind, oder rothes Objekt wird am kräftigsten grün erscheinen, wenn sein Hintergr und die Projektionsfläche komplementär grün sind.

In der Formel für F spielen ausser der weissen Farbe w die d Farben φ, k, f' eine Rolle. Jenachdem die Koeffizienten dieser drei F ben variiren, ändert sich die Gesammtfarbe. Diese Koeffizienten sind Fu tionen der Zahlen m, n, r, x, y, welche durch die Kräftigkeit der versch denen Kontrastwirkungen oder durch den *Spektralunterschied* betreffenden Farben und deren *Intensität* bedingt und sachgemäss ermitteln sind. In gewissen Fällen ist es übrigens möglich, die Hau *färbung* von F, abgesehen von deren *genauer* Bestimmung, zu erk nen, ohne auf die Ermittlung der eben genannten Koeffizienten einzu hen. Einige dieser Fälle haben wir schon vorstehend erörtert: im All meinen liegt ein Fall dieser Art vor, wenn von den *drei* Farben φ, k *irgend zwei einander gleich* sind. Denn alsdann reduzirt sich Gesammtfarbe F auf ein Gemisch von nur *zwei* Farben, dessen *Grun färbung* meistens aus der Art der beiden Bestandtheile schon herv geht. Die in Rede stehenden Fälle sind folgende drei.

Wenn die Projektionsfläche die Komplementärfar des Objektes trägt, also $\varphi = k$ ist, erscheint im Nachbilde die Fa

s Objektes als eine Mischung aus φ und f', d. h. aus der Farbe der rojektionsfläche und des Hintergrundes.

Wenn die Projektionsfläche die Farbe des Hintergrundes gt, also $\varphi = f'$ ist, erscheint im Nachbilde die Farbe des Objektes eine Mischung aus φ und k, d. h. aus der Farbe der Projektions- che und der Komplementärfarbe des Objektes.

Wenn der Hintergrund die Komplementärfarbe des Objek- trägt, also $k = f'$ ist, erscheint im Nachbilde die Farbe des Objektes eine Mischung aus φ und f', d. h. aus der Farbe der Projektions- che und des Hintergrundes.

Bei der Vergleichung der Resultate unserer Formeln mit den Beob- tungen in §. 66 No. 30 ist der Unreinheit, der verschiedenen Intensität der physiologischen Wirkung der Farben gebührende Rechnung zu gen. Wenn Diess geschieht, findet man die Erscheinung mit der For- in vollkommenster Übereinstimmung.

12. **Abklingen der Farben.** Wir kommen jetzt zum Abklingen Farben. Das Qualitative der chemischen Wirkung eines Lichtstrah- in der Nervensubstanz hängt lediglich von der Farbe dieses Strahles Das Quantitative jedoch ist durch zwei Ursachen bedingt. Die e dieser Ursachen ist die Intensität oder Stärke des Strahles. Eine ite Ursache müssen wir jedoch in der Farbe des Strahles finden, d. h. müssen annehmen, dass gleich intensive Strahlen von verschiedener be chemische Prozesse von verschiedener Energie erzeugen. Die tographie bestätigt Diess für die anorganische Welt direkt, indem die her vibrirenden Strahlen eine stärkere chemische Wirkung hervorbrin- als die langsamer vibrirenden; das violette Licht bräunt bei gleicher nsität das Chlorsilber stärker als das rothe. Diese Wirkung ist so er- ich, dass obgleich im gewöhnlichen Sonnenlichte die oberen Strahlen viel stärkere Intensität haben, sodass das Maximum der optischen nsität des Spektrums im Gelb liegt, das Maximum der chemischen kung doch in das untere violette Ende des Spektrums fällt.

Nehmen wir an, etwas Ähnliches finde in der Nervensubstanz statt. e Annahme findet ihre unmittelbare Bestätigung an der Thatsache, unter gewöhnlichen Verhältnissen rothes Licht am meisten, gelbes we- r stark und blaues am wenigsten das Auge angreift. Ausserdem hat uns schon der physiologische Farbenprozess in §. 65 No. 23 und die Er- nung der farbigen Sterne in §. 54 No. 11 zu derselben Annahme geführt.

Durch den Blick in die Sonne empfangen wir den Eindruck aller Far- lemente in solchen Mischungsverhältnissen, dass daraus der physiolo- e Eindruck des weissen Lichtes hervorgeht.

Bei genügend starker Einwirkung des Lichtes entsteht Blendung organische Degeneration der Nervensubstanz. Ist die Blendung ach; so wiegt nach der thatsächlichen Erscheinung die Wirkung der samеren Strahlen vor. Bei stärkerer Blendung oder Gesammtinten- tritt immer mehr und mehr die Wirkung der rascheren Strahlen r. Beim Schliessen des von der Sonne geblendeten Auges erblicken also das Nachbild bei schwacher Blendung röthlich, bei stärkerer dung gelblich, bei noch stärkerer grünlich und bei noch stärkerer

bläulich. Im Übrigen ist es sehr wohl möglich, dass ein Licht, welches in anderen Mischungsverhältnissen wie das Sonnenlicht zusammengesetzt ist, bei wachsender Intensität eine andere Skale von Blendfarben hervorbringt.

Bezeichnen $a, b, c, d \ldots$ die prismatischen Farben von Roth zu Violet; so wird die Farbe des Nachbildes der Sonne im geschlossenen Auge je nach dem Grade der Blendung aus einer gewissen Menge der ersten Farben in der vorstehenden Reihe nach gewissen Intensitätsverhältnissen dergestalt zusammengesetzt sein, dass die letzten Farben dieser Komposition etwas vorherrschen. Angenommen, diese Farbe sei dargestellt durch $a + b + c$. Das Nachbild selbst ist nur die Folge der Fortdauer des durch den Lichtreiz induzirten Prozesses. Dieser Prozess wird allmählich schwächer; es tritt allmählich Heilung der angegriffenen Nervenfasern ein. Da die unteren Strahlen c in der Farbe $a + b + c$ erst durch Verstärkung der Gesammtintensität des ursprünglichen Lichtreizes zur Herrschaft gebracht werden, also am schwierigsten zu realisiren sind; so wird ihre Wirkung auch am raschesten verschwinden: es wird also zunächst die der Farbe c entsprechende Sekretion aufhören. Das Nachbild wird daher allmählich die Farbe $a + b$ und schliesslich die rothe Farbe a annehmen.

Allerdings werden hierbei gewisse Trübungen entstehen. Denn wenn die Sekretion für die Farbe c aufgehört hat; tritt allmählich Heilung der angegriffenen Nervenfaser oder Wiederherstellung derselben in den normalen Zustand ein, und nach dem Früheren ist hiermit eine Tendenz zur Erzeugung der Komplementärfarbe von c verbunden. Diese Tendenz kann übrigens nur dann eine deutliche Erscheinung dieser Komplementärfarbe bewirken, wenn die Thätigkeit des Nerven nicht anderweit in erheblichem Maasse in Anspruch genommen wird. Ist Letzteres der Fall; so wird die Neigung zur Erzeugung der Komplementärfarbe nur einen untergeordneten, also kaum merkbaren Einfluss äussern, die durch stärkere Impulse erzeugte Farbe zu modifiziren. In der That ist aber dem Nerven, welcher soeben die Farbe $a + b + c$ erzeugte, durch das Erlöschen von c noch keine Ruhe gegeben, bei welcher sich vermöge der allgemeinen Nerventhätigkeit die Komplementärfarbe von c deutlich ausbilden könnte: die Thätigkeit desselben wird vielmehr noch fortwährend durch den Sekretionsprozess in Anspruch genommen, welcher die Farbe $a + b$ erzeugt. Das Resultat wird also sein, dass die Farbe $a + b$, in welche das Nachbild übergeht, ein wenig durch die Komplementärfarbe von c nuancirt wird, was in der Regel keinen merkbaren Eindruck machen kann.

Ebenso wie c, so erlischt allmählich die Farbe b und das Nachbild nimmt die rothe Farbe an.

13. Mehrfarbigkeit des Saumes. Dieselben Gründe, welche das Abklingen des Nachbildes nach einer Farbenfolge, welche von den violetten Strahlen gegen die rothen vorschreitet, bedingen, eben dieselben Gründe verleihen auch dem Nachbilde einen mehrfarbigen Saum, dessen äusserster Ring roth ist und in welchem vom Kerne heraus dieselbe Farbenfolge stattfindet. Denn an den äussersten Rändern des Netzhautbildes ist die Blendung offenbar schwächer, als weiter nach der Mitte. Am Rande macht sich also die Wirkung der schwächeren Blendung durch

ne andere Farbe schon von vorn herein geltend, während im Kerne diese ʼirkung erst mit der Zeit bei eintretender Erholung der Nerven eintritt. ie Verwandlung der Farbe des Nachbildes geht hiernach in der Weise ır, dass die Farbe des Kernes vom Rande her verschwindet ud der Farbe des nächsten Saumes Platz macht.

14. Abklingen der Nachbilder von einfachen Farben. Die vor- ·hende Erklärung des Abklingens und der Farbensäume des Nach- ides setzt Blendung durch ein gemischtes Licht voraus. Es ist aber öglich, dass auch die durch einfaches Licht entstandenen Nachbilder ıklingen und Farbesäume haben. Letzteres ist sogar sehr wahr- heinlich und man muss es, abgesehen von irgend einer direkten Bestä- ;ung durch ein Experiment, schon daraus schliessen, dass bei starker endung nicht bloss das Objekt einen farbigen Saum hat, sondern dass ch der Hintergrund, auf welchem das Objekt zu ruhen scheint, mit ıem an den Umriss des Objektes sich anschliessenden Farbensaume um- ben ist, dessen Farben sich vom Objekte an komplementär zu den umfarben des Letzteren verhalten. Wenn also in der Richtung von der tte des Objektes nach aussen die Farben des Letzteren in der Reihen- ge von Violet zu Roth stehen; so bilden die komplementären äusse- n Säume in derselben Richtung dieselbe Reihenfolge von Violet zu th, wenn auch die Skale nicht vollständig ist, vielmehr auf den äusser- n rothen Saum des Objektes ein komplementärer bläulicher äusserer ım folgt.

Die Erscheinung des komplementären bläulichen Aussenrandes an n äussersten rothen Innenrande erklärt sich ohne Weiteres aus dem ıntrastgesetze. Was aber die Erscheinung der prismatischen Reihen- ge der sich anschliessenden Säume betrifft; so muss man annehmen, dass ht bloss die vorhin besprochene Blendung durch zusammengesetz- Licht Farbensäume erzeugt, sondern dass jedes einfarbige Netzhaut- l sich in Folge der Kontrastwirkung nicht bloss mit einem mplementären Scheine, sondern auch mit prismatischen Far- nsäumen umgiebt, und dass diese Säume ihrerseits wiederum eine kwirkung auf das Objekt in der Weise äussern, dass das Objekt selbst bensäume annimmt.

Gemischtes Licht wird diese Saumbildung nach der vorhergehen- Erklärung vermöge der verschiedenen Blendung durch die verschie- en Farben wesentlich erleichtern und die Erscheinung lebhafter chen: allein auch bei ganz einfachem Lichte wird dieselbe vermöge Kontrastwirkung nicht gänzlich aufhören. Die Kontrastwirkung de man sich folgendermaassen denken müssen. Wenn die Nervenfasern Objektes durch irgend eine Farbe, z. B. durch Roth, stark in Anspruch ommen sind, werden die umgebenden Fasern umso schwieriger auf Licht rhaupt, am schwierigsten aber auf Roth reagiren. Wegen der allge- nen Nerventhätigkeit, welche in keinem Punkte des Auges absolute ıkelheit zulässt, vielmehr stets einen gewissen Grad von Helligkeit er- gt, wird also in den umgebenden Fasern ein in Beziehung auf Intensi- schwacher, in Beziehung auf Qualität aber blauer Schein entstehen. müssen nun annehmen, dass bei diesem auf Induktion und allgemei-

ner Lebensthätigkeit beruhenden Lichtprozesse in den umgebenden Nervenfasern das Blau sich nicht so rein und scharf aussondere, wie es bei der Affektion der Netzhaut durch äussere blaue Strahlen stattfindet, dass vielmehr bei diesem induktorischen Lichtprozesse mehr oder weniger weisses oder aus allen Farben gemischtes Licht auftritt, indem ja die ungefesselte Nerventhätigkeit, wie wir schon früher gezeigt haben, nahezu weisses (röthlichgelbes) Licht hervorbringt, dass aber die Sekretionen, welche den Eindruck des grünen, gelben, rothen Lichtes bedingen, umso weiter von dem rothen Objekte verdrängt werden, durch dessen Kontrastwirkung zunächst der Prozess des blauen Randes erzeugt und gefesselt wird.

Dass sich die farbigen Aussenränder während des Abklingens des Objektes etwas ändern, da der in der Hauptmasse der Nervenfasern des Objektes stattfindende Prozess, welcher sich allmählich ändert, einen Einfluss auf den äusseren Prozess haben wird, leuchtet ein.

15. Farbenverwandlung beim Übergange in das negative Nachbild. Im Vorstehenden haben wir das Abklingen des Nachbildes bis zur rothen Farbe als eine Folge der Nachdauer des ursprünglich erzeugten Nervenprozesses mit allmählichem Erlöschen der Sekretion resp. für die blauen, grünen, gelben, rothen Strahlen erkannt. Bis hierher halte ich das Nachbild trotz der Farbveränderung für ein positives. Sowie diese Wirkung auch für die rothen Strahlen geschehen ist, tritt der vorhin ebenfalls schon besprochene Umschlag in das negative Nachbild ein. Das Objekt verschwindet oder verdunkelt sich momentan. Jetzt beginnt die eigentliche Heilung oder Wiederherstellung der Nervenfasern: es tritt der umgekehrte Prozess ein. Das Lichtbild hellt sich als negatives Bild wieder auf und zwar mit einer Farbe, welche komplementär ist zu derjenigen, mit welcher das positive Bild verschwand, also mit der blauen, da das positive Bild mit der rothen Farbe erlosch. Denn diese rothe Farbe ist diejenige, welcher der letzte Sekretionsprozess in den affizirten Fasern entsprach, für welche eine Heilung der Nervensubstanz noch nicht stattgefunden hat, während für die anderen Farben, in welchen das positive Bild vorher erschien, die Heilung bereits während des Abklingens stattgefunden hat.

In ähnlicher Weise, wie soeben bei den farbigen Aussenrändern geschehen, müssen wir auch jetzt annehmen, dass bei dem Übergange in das negative Nachbild oder bei der Umkehrung des Nervenprozesses nicht ganz ausschliesslich der Prozess des komplementären Blau erzeugt werde, sondern dass bei dieser allgemeinen Lebensthätigkeit auch der allgemeine Lichtprozess, d. h. der Prozess jeder einfachen Farbe mit grösserer oder geringerer Stärke entwickelt werde, dass aber diese einzelnen Farben erst nachundnach zu deutlicher Erscheinung kommen. Demnach klingt auch das negative Nachbild in derselben Reihenfolge der prismatischen Farben ab, wie das positive.

16. Veränderungen des Nachbildes auf farbiger Projektionsfläche. Wie die Wirkungen des Kontrastes, der Nachdauer des

kretionsprozesses und der schliesslichen Heilung sowohl rückıtlich der Intensität, als auch der Farbe zusammenwirken, wenn das bige Nachbild auf einem anders gefärbten Grunde liegt oder ın es sich um zwei nebeneinanderliegenden Objekte handelt l das geblendete Auge nun auch auf eine farbige Fläche gerichtet d, dürfte aus Vorstehendem leicht abzuleiten sein, wenn man die ein-.en in Betracht kommenden Farben in ihre einfachen Bestandile zerlegt und die Wirkung dieser Elemente aufeinander untersucht.

Soweit es sich um das reine Nachbild eines Objektes von mässi- Helligkeit handelt und Kontrastwirkungen dabei nicht in Beht kommen, kann man die Farbe des dauernden oder negativen hbildes eines farbigen Objektes auf farbiger Projektionsfläche leicht essen. In Beziehung auf allgemeine Intensität; so erzeugt ein les Objekt immer ein dunkles und ein dunkles Objekt immer ein lles Nachbild, wie auch die Projektionsfläche beschaffen sein möge, nit übrigens nicht gesagt sein soll, dass das Nachbild in absoluter iehung, sondern nur verglichen mit der Projektionsfläche hell sei. die Farbenwirkung betrifft; so ist das Auge vorzugsweise gegen ın der Farbe des Objektes enthaltenen Grundfarben abgestumpft, so- im Nachbilde vorzugsweise diejenigen Grundfarben der Projektionsne, welche zu den Farben des Objektes komplementär sind, überot aber vorzugsweise diejenigen, welche in der Farbe des Objektes ht enthalten sind, wirksam werden. Je nach der Intensität der ektionsfläche mischen sich hiermit aber auch grössere oder kleinere heile der mit dem Objekte gemeinschaftlich vorhandenen Grunden.

Hierdurch erklären sich die in No. 24 bis 30 des §. 66 beschriebenen heinungen.

17. Die Säume und Scheine des Nachbildes als Wirkungen Kontrastes. Was die Verbindung der Kontrastwirkung mit dem hbilde betrifft; so hat man zu beachten, dass die Kontrastwirkung nicht chen dem aufeinander folgenden Objekte und Nachbilde, son- nur zwischen den gleichzeitig bestehenden Theilen desselben chtsfeldes, also zwischen zwei zusammen bestehenden Obten oder zwischen einem Objekte und seiner Umgebung und ebenso chen deren Nachbildern zur Geltung kömmt.

Der Kontrast steigert nach unserem Kontrastgesetze die Gegenze der Helligkeit und der Farbe zweier gleichzeitig wirkenden kte, indem er das hellere Objekt noch heller und das dunklere noch kler erscheinen lässt und die komplementären Farben belebt. Sind ma und na zwei gleiche Elementarfarben in den Objekten A B von verschiedener Intensität und ist $m > n$; so erhöht sich im kte A der Farbenprozess von a noch mehr, während er im Objekte och tiefer hinabsinkt. Ist ferner a eine Elementarfarbe in A, welche fehlt; so wächst der Farbenprozess von a im Objekte A wie vor- im Objekte B aber ist die Verminderung des Farbenprozesses von a, her dort ganz fehlt, gleichbedeutend mit der Erweckung des kommentären Farbenprozesses b. Berücksichtigt man in dieser

Weise alle elementaren Farben in A und B; so ergiebt sich das Gesamm
resultat der Kontrastwirkung zwischen A und B.

Hiernach wird ein weisses Objekt neben einem einfach rothen he
ler und grüner, das rothe dagegen dunkler und etwas tiefer ro
erscheinen. Denn das rothe Objekt entzieht dem weissen einen Theil v
dessen Roth, macht dasselbe also grün. Das weisse Objekt dagegen en
zieht dem rothen einen Theil von Grün, macht dasselbe also noch röth
Im rothen Objekte wird also die rothe Farbe aus zwei Ursachen erhö
In Beziehung auf allgemeine Helligkeit wird jedoch der Lichtp
zess im rothen Objekte zu Gunsten des weissen ermässigt und desh
wird jenes dunkler.

Die Kontrastwirkung zwischen zwei Objekten wird beförde
wenn das Auge keines von beiden Objekten stark fixirt und sie w
beeinträchtigt, wenn das Auge jedes Objekt mit grösst
Schärfe zu fixiren sich bemüht. Der Grund ist einleuchtend, ind
durch vermehrte innere Anstrengung oder Akkommodation der betr
fenden Nervenfasern der gegebene äussere Lichtstrahl vollkomme
zur Wirkung gebracht und vor den induktorischen Einflüssen
schützt wird.

Die Blendung wird nun aber gerade durch scharfes Fixir
der Objekte erhöht. Indem man also, um eine möglichst vollständi
Blendung zu erhalten, die beiden Objekte A und B scharf fixirt, v
hindert man, dass die Kontrastwirkung, obgleich dieselbe materi
in der Nervensubstanz durch Induktion sich zu verwirklichen strebt, do
nicht zu so kräftiger Erscheinung oder Erkenntniss kömmt.

Sobald man aber jetzt das scharf blickende Auge von den Umriss
der sich begrenzenden Objekte A und B entfernt, also dem Auge
schlichte Fläche des Objektes A zur Projektionsfläche für ein Na
bild darbietet, auf welcher die vorhin durch die Umrisse von A und
gefesselten Nerven jetzt entlastet werden und den induktorisch
Prozessen leichter folgen können, stellt sich nicht bloss die Ersch
nung der Nachbilder, sondern auch die verstärkte Wirkung d
Kontrastes ein.

Angenommen, das Objekt A sei weiss und das B roth. Nimmt
Auge, welches soeben die Grenze fixirte, in welchem bei gehöriger E
wicklung der Kontrastwirkung A grünlich und heller, B dageg
röther und dunkler erscheinen müsste, das weisse Objekt A z
Projektionsfläche, indem es sich auf irgend einen Punkt dieses Objek
richtet; so bildet sich längs der Grenze beider Objekte ein Streifen, w
cher das Nachbild des darauf fallenden Theiles von B ist, also grün u
sehr hell erscheint. Ausserdem projizirt sich das weisse, aber vermö
des Kontrastes grünlich wirkende Objekt A auf seiner eigenen Fläche u
erzeugt daselbst ein rothes Nachbild, welches besonders an der Gren
lebhaft erscheint, in weiterer Entfernung aber an Intensität abnimmt, a
den Charakter eines verschwimmenden Scheines annimmt, währe
der grüne Grenzstreifen einen scharf begrenzten Streifen von gro
ser Helligkeit darstellt.

Geht das Auge dagegen auf einen Punkt des rothen Objektes B;
erscheint auf diesem Objekte am Rande das Nachbild des weissen (od

ılich wirkenden) Objektes *A*, also ein dunkelrother Strei- und daneben als allmählich verschwimmender Schein das Nach- des rothen Objektes *B*. Da dieses Objekt vermöge des Kontrastes ein dunkleres und reiner roth gefärbtes wirkt; so wird der letz- Schein hell oder weisslich (im Allgemeinen, wenn die Farben nicht rein sind, mit einem Anfluge des komplementären Grün) erscheinen.

Diese Ränder und Scheine zu beiden Seiten der Grenzen der Objekte n sich nun auch dann, wenn man sich bemüht, das Auge auf den kten gefesselt zu halten, also dieselben ruhig und scharf anzublicken. ı in absoluter Ruhe ist das Auge nicht zu erhalten. Dasselbe schwankt s in Folge der Athembewegung und des Pulsschlages, theils in Folge dauernden Reizes derselben Fasern unwiderstehlich hinundher, und wirklich die Axe des Auges mit Anstrengung festgehalten wird; so ıgen die Muskeln und Nerven, von welchen die Form der inneren le, die Linse, des Glaskörper, der Netzhaut abhängt, solche Bewegun- dass derselbe Lichtstrahl, namentlich der von dem fixirten Punkte ınende Strahl nicht fortwährend dieselben Stäbchen und Ner- 'asern trifft, sondern abwechselnd die Nachbarfasern in Anspruch ıt.

Aus Vorstehendem erklären sich die in §. 66 No. 12 und an anderen ›n beschriebenen Erscheinungen der farbigen Säume und Scheine.

18. Umsichgreifen und schwächende Wirkung der Blendung. ıoch übrig bleibenden Nervenerscheinungen, welche in §. 66 erwähnt erläutern sich leicht.

Da die Nachbilder auf Lichtprozessen beruhen, welche induktorisch ı die physiologische Thätigkeit des Organismus erzeugt werden; so ist dass dieselben nicht so scharf und deutlich sein können, wie der di- Lichteindruck des Objektes. Beim Sehen werden nur ganz be- ıte Nervenfasern affizirt, welche ihre Thätigkeit unmittelbar nicht ıre Nachbaren übertragen. Bei den subjektiven Erscheinungen Iachbilder dagegen ist theils die allgemeine Lebensthätigkeit des Or- mus, theils ein inneres Gehirnorgan der Urheber des Prozesses. Erscheinungen werden daher auch den allgemeinen Charakter sol- Prozesse an sich tragen, und dieser Charakter besteht wesentlich in induktorischen Affektion der Nervenfasern, und wenn die ung von einem Zentralorgane ausgeht, in einer gewissen Vertheilung esammtwirkung auf die nahe gelegenen Fasern. So zeigen namentlich ontrasterscheinungen deutlich eine erhebliche Beeinflussung der einen n durch die anderen. Demnach werden die Umrisse des Nachbildes t ganz scharf sein und sich abrunden: die vorspringenden ›n ziehen sich ein und die einspringenden Winkel füllen sich aus, hliesslich eine nahezu runde Scheibe übrig bleibt.

Die durch die Blendung entstandene Degeneration der Nervensubstanz ert das deutliche Sehen mit den betreffenden Fasern, und der hervorgerufene subjektive Lichtprozess trägt dazu bei, dieselben Sehen weniger heller oder anders gefärbter Objekte noch mehr glich zu machen.

Iieraus erklärt sich auch, warum ein lange im Hellen gebrauchtes

Auge bei plötzlich eintretender Dämmerung undeutlich sieht und e allmählich die nöthige Sehfähigkeit erlangt. Umgekehrt ist klar, dass ein lange im Dämmerlichte gebrauchtes Auge die plötzliche Hell keit viel stärker blendend einwirkt, als die allmählich eintretende.

Eine starke Blendung kann wegen der erheblichen Beschädigung d Nervenfasern Wochen und Monate zu ihrer Heilung bedürfen, ja sog unheilbar sein. Solange das Heilbestreben dauert, werden auch Nachbild erscheinen. Schliesslich kann unter Umständen eine dauernde Veränd rung, eine Schwäche, eine fehlerhafte Disposition für die Farbenempfi dung oder eine sonstige Abnormität zurückbleiben.

Wie jeder Heil- oder Krankheitsprozess durch mancherlei Umstän und durch die Thätigkeit ganz anderer Organe unterbrochen und rü gängig wird, ebenso können die Nachbilder durch die Bewegung d Auges, durch den Gebrauch derselben zum Sehen, durch Veränderu des Lichteindruckes, durch den Blutlauf, durch Gemüthsregungen u. s. gestört, zurückgebildet, wieder eingeleitet und verändert werden.

Es ist begreiflich, dass in Folge eines starken und dauernden A griffes die Nerventhätigkeit allmählich erlahmt, oder die Nervensubsta sich allmählich in dem fortgesetzten Prozesse erschöpft, dass also fortgesetzter Blendung das Licht sich verdunkelt und die Fa ben verblassen.

19. Grösse, Gestalt und Entfernung des Nachbildes. We das durch Fixirung eines Objektes geblendete Auge sich auf eine bel bige Projektionsfläche richtet oder sich schliesst; so ändert sich s Akkommodationszustand, die Form des Augapfels, die Spa nung in der Netzhaut und zwischen den Stäbchen. Hierdu wird die auf der subjektiven Thätigkeit der im früheren Netzhautbilde l genden Nervenfasern beruhende Erscheinung in mehrfacher Hinsicht al rirt: das Nachbild unterscheidet sich von dem Objekte in sei Grösse, Form und Deutlichkeit. Im Allgemeinen verzerret es s etwas, indem die Spannung der Netzhaut, welche in den einzelnen Punkt des Netzhautbildes genau den Reizen des Objektes entsprach, sich v liert; es erscheint flacher als das Objekt, weil der Unterschied der A kommodation der einzelnen Netzhautpunkte durch die Fixirung der eben Projektionsfläche sich mehr ausgleicht.

Was die scheinbare Grösse und Entfernung des Nachbildes trifft; so weicht dieselbe von der des Objektes nach der Richtung hin nach welcher die Entfernung der Projektionsfläche von der des Objek abweicht. Ist also die Projektionsfläche entfernter als das Objekt; erscheint das Nachbild entfernter und grösser: liegt jene Fläche gegen näher als das Objekt; so erscheint das Nachbild näher und kl ner. Die Ursache hiervon liegt in der Veränderung, welche die Akko modation bei der Fixirung der Projektionsfläche erleidet und welche na §. 16 No. 9 und §. 24 No. 10 induktorisch das Urtheil über die Entf nung und Grösse beeinflusst.

Beim Schliessen des Auges konvergiren die Augenaxen nach §. 24 No. stärker; es steigert sich also die Akkommodationsthätigkeit wie be Blicke auf kürzere Sehweite, das Nachbild erscheint daher, wenn das

enseit der mittleren Sehweite lag, verkleinert und genähert. on einem ganz nahe liegenden Objekte kann das Nachbild im gessenen Auge vergrössert und entfernter erscheinen.

:0. **Körperlichkeit des Nachbildes.** Die in §. 66 No. 37 erwähnte erlichkeit der Nachbilder und die dem Objekte mehr oder weniger entsprechende scheinbare Entfernung vom Auge erklärt sich sehr aus der in §. 65 No. 30 erläuterten Thatsache, dass der Nervenəss, welchen das von einem Punkte kommende Lichtbündel erzeugt, on der Entfernung dieses Punktes abhängige Beschaffenheit, inslere eine auf der chemischen Vibrationsrichtung normal stehende ion annimmt. Die Nachwirkung dieses Prozesses muss daher auch eschaffenheit, wenigstens in ihrem Grundzuge, zeigen, und dadurch ›in Punkt in einem Nachbilde eine gewisse Entfernung vom Auge ›en scheinen, welche, wenn sie auch der wirklichen nicht gleich kömmt, lurch dieselbe mit bedingt ist.

›ass die scheinbare Form, Körperlichkeit und Entfernung des Nach- der wirklichen des Objektes nicht ganz gleich komme, sondern sich r entfernt nähern kann, leuchtet ein. Namentlich bewirkt, wie schon stehender Nummer erwähnt ist, die Akkommodations- und sonstige eränderung, welche das Auge erleidet, indem es das Objekt nicht fixirt, wie jede ungenaue Akkommodation eine von der Wahrıehr oder weniger abweichende Erkenntniss.

›ass übrigens das Abklingen und der Helligkeitswechsel, also auch ›ergang vom positiven zum negativen Nachbilde die stereometrischen tnisse nicht wesentlich ändert, erklärt sich aus dem Prinzipe, nach ›m die Entfernung erkannt wird. Diese Erkenntniss beruht nach No. 7 auf dem Verhältnisse der seitlichen Affektion zu der axiafektion der Stäbchen, welches auch in §. 65 No. 30 als eine direkte ng des physiologischen Nervenprozesses erkannt ist. Im Allgemeinen ıun beim Abklingen der Farben oder bei der Helligkeitsverrung die erstere Affektion mit der letzteren nahezu in gleichem zu- oder abnehmen, das fragliche Verhältniss, also das Urtheil ie Entfernung wird mithin nahezu dasselbe bleiben.

1. **Bewegung des Nachbildes.** Die in No. 38 des vorhergehenden aphen erwähnte Bewegung des Nachbildes hat folgenden Grund. Fixiren des Objektes nimmt die Augenaxe nach §. 18 No. 10 eine estimmte Stellung ein, welche durch die Form, sowie durch die keits- und Farbenverhältnisse bedingt und auf den optischen ərpunkt des Objektes gerichtet ist. Nur in dieser Stellung ist das ınter der Wirkung der in den verschiedenen Punkten der Netzhaut den Kräfte im Gleichgewichte. Sowie sich nun das Auge vom e ab auf eine Projektionsfläche wendet (oder sich schliesst) und das ›ild erscheint, entsprechen die in den einzelnen Fasern des Nachbilh äussernden Nerventhätigkeiten nicht mehr vollkommen den vom te ausgegangenen; der optische Schwerpunkt des Nachbildes n einer anderen Stelle als der des Objektes. Das Auge kann sich i der Fixirung des Nachbildes nicht im Gleichgewichte befinden, so-

lange es gegen das Nachbild dieselbe Stellung annimmt, welche es ge das Objekt einnahm. Demgemäss folgt das Auge einem natürlichen R zur Bewegung seiner Axe nach der Seite des optischen Schwerpunktes Nachbildes: sowie aber diese Bewegung erfolgt, verrückt sich Nachbild in derselben Richtung selbst, weil dieses Bild ja n von festen äusseren leuchtenden Punkten stammt, sondern auf subjekti Thätigkeiten bestimmter Nervenfasern, welche sich mitbewegen, ber Das Auge kann also nicht in die Gleichgewichtslage gelangen, wird v mehr von dem fortrückenden Nachbilde weiter fortgezogen. Än sich nun hierbei die Helligkeits- und Farbenverhältnisse des Nachbi nicht wesentlich; so schreitet dasselbe in der Richtung der Bewegun weit fort, dass das Auge nicht mehr folgen kann: es verschwindet alsd am Rande des Gesichtsfeldes. Ändern sich aber jene Verhältnisse; ändert sich damit die Lage des optischen Schwerpunktes und demgem die Bewegungsrichtung: hieraus geht bald eine krummlinige Be gung, bald eine Rückkehr oder ein Hinundherschwanken hervo

§. 68.

Sehen im farbigen Lichte. — Disposition des Auges z richtigen Empfindung der Farbe.

1. Normaler Spannungszustand. Der chemische Prozess der Nervensubstanz, auf welchem die Empfindung der Farbe ber ist bedingt oder wird erweckt durch die Vibrationen, welche Lichtstrahl dieser Substanz mittheilt. Die Nervenfaser hat aber n vom Gehirne bis zu ihrem äussersten Ende in der Netzhaut dieselbe schaffenheit. Wir wissen, dass an diesem äussersten Ende ein Stäbc liegt, welches die Ätherschwingungen direkt empfängt, und dass von aus die Nervenleitung mehrere Körner- und Kugelschichten von versc dener Beschaffenheit zu durchlaufen hat, wobei sie selbst ohne Frage Eigenschaften ändert, bis sie endlich zu derjenigen Substanz wird, wel als eigentlicher Nervenfaden zum Gehirne führt.

Hiernach wird die Beschaffenheit der eben genannten Zwisch organe, die Zellenhaut, einen Einfluss auf den Schwingungszust und auf den chemischen Prozess haben, welcher durch einen gegeben Lichtstrahl im Sehnerven erweckt wird. Um diese Ansicht mit Überz gung aufzunehmen, muss man sich nur vergegenwärtigen, dass der Fa welcher einerseits von einem Stäbchen ausgeht, keine gleichförm Leitung bis zum Sehnerven darstellt, sondern sich erst in die Subst eines Kornes der Körnerschicht ergiesst und darauf in einer noch un kannten Weise mit den Kugeln der Kugelschicht in Verbindung t Der richtige Farbeneindruck kann nur entstehen, wenn diese Organe entsprechende oder normale Beschaffenheit haben. Wenn Diess Fall ist, beurtheilt das Auge jede einzelne Farbe, also überhaupt ganze Gebiet und Verhältniss der Farben zueinander ri tig oder vielmehr normal, d. h. dem Plane des menschlichen Orga mus gemäss.

er Zustand des Auges, um welchen es sich hierbei handelt, ist ein er *Spannungszustand* zwischen den verschiedenen elementaren n des Auges, namentlich denen der *Netzhaut*, welcher zwar len *gewöhnlichen* Verhältnissen, unter welchen wir das Auge chen, *ziemlich konstant* erscheint, jedoch im Allgemeinen ıbsolut konstant ist, sondern sich unter gewissen Einflüssen t. Mit dieser Änderung ändert sich dann aber auch der physiolo- Eindruck, welchen die Farben auf uns machen, indem das geänderte ıngsverhältniss bewirkt, dass der mit der früheren Vibrations- indigkeit in das Auge fallende Strahl in der Substanz des Seh- einen anderen chemischen Prozess hervorruft.

h behaupte nun, dass der eben bezeichnete Spannungszustand, wel- ie Übertragung der Lichtimpulse auf die Nerventhätigkeit beein- durch das *allgemeine Licht* bedingt ist, welches *das Auge* rscht, oder welches den umgebenden *Gesichtsraum erhellt*, ıch *das Auge erleuchtet*. Dieser Zustand ist der *normale* rschafft uns die *normale* oder *für das menschliche Gesicht* chtig zu erklärende Empfindung von den Farben der Objekte, ich das Auge im *weissen Lichte* oder vielmehr im *gelblich-* en *Sonnenlichte* befindet, wogegen jener Zustand *abnorm* ıd uns *falsche* Farbeneindrücke liefert, sobald das Auge in *far-* *Licht* versetzt wird.

Farbenverwandlung im farbigen Lichte. Ehe wir den unter Verhältnissen eintretenden ungewöhnlichen Zustand des Auges und ünde der daraus entspringenden ungewöhnlichen Farbeneindrücke chen, wollen wir eine Beschreibung der hierher gehörigen Erschei- liefern.

gt man ein stark gefärbtes Glas dicht auf verschiedenfarbige Ob- so verschwinden alle Farben von mässiger Intensität fast vollstän- erscheint Alles von der Glasfarbe so sehr überdeckt, dass diese fast allein herrscht. Ausserdem tritt eine erhebliche Verdunk- n.

e Vernichtung aller übrigen Farben und die Alleinherrschaft der be in diesem Falle hat zwei Ursachen. Die Objekte leuchten in peziellen Farben nur vermöge des auf sie fallenden und von ihnen ten Lichtes. Dieses Licht muss nun, wenn ein Objekt von einem ı Glase dicht bedeckt ist, die Glastafel schon zum ersten Male ingen, ehe es das Objekt erreicht und zum Leuchten bringen kann. ı muss das zerstreute Licht des Objektes, um zum Auge zu gelan- Glastafel zum zweiten Male durchdringen. Da nun ein *farbiges* n solches ist, welches die durch dasselbe dringenden Strahlen in ı von dieser Farbe verwandelt, wobei gewöhnlich ein namhafter stattfindet (§. 2); so ist klar, dass sowohl das zur Beleuchtung e Tageslicht, als auch das vom Objekte zerstreute Licht eine Ein- n allen übrigen Farben erleidet, sodass die Objekte nur in der be und zwar wegen des starken Lichtverlustes, erheblich verdun- cheinen.

e zweite Ursache, welche der Glasfarbe im vorstehenden Falle ein

so grosses Übergewicht verleiht, besteht darin, dass sich das Glas in d selben *Sehweite* wie das Objekt befindet, dass also das Auge auf Be gleich gut akkommodirt ist, folglich bei der Fixirung des *Objektes* a die *Glasfarbe* richtig und deutlich mit fixirt, sodass auch das dire vom Glase kommende Licht sich auf dem Netzhautbilde des Objektes *konzentrirt.*

Allerdings giebt es weder *durchsichtige*, noch *undurchsichti* Körper von so *entschiedener* natürlicher Farbe, wie vorstehend vora gesetzt ist. Diese Farbe hängt immer etwas von der Farbe des *erleu tenden Lichtes* ab, d. h. der Schwingungszustand des eindringenden o erregenden Lichtes hat immer einen gewissen Einfluss auf das Resul der Umwandlung, welche derselbe beim Eindringen in den Körper du die physikalische Beschaffenheit dieses Körpers erleidet. Bei der gemach Voraussetzung, wo das farbige Glas dicht auf dem Objekte liegt, sp jedoch das Glas, welches von dem erregenden Lichte *zweimal* dur drungen werden muss, eine so überwiegende Rolle, dass sich die eben wähnten Einflüsse nur in geringem Maasse geltend machen können.

Je weiter man das Glas vom Objekte entfernt und dem Auge näh desto mehr ändert sich die Erscheinung. Allmählich fällt das *erleu tende* Tageslicht immer mehr *direkt* auf das Objekt, ohne das Glas durchdringen. Wenn das Glas *dicht vor das Auge* gehalten wird, das Objekt nur vom *Tageslicht* beleuchtet, das ins Auge tretende Li braucht also das Glas nur *einmal* zu durchdringen. Ausserdem ka sich das Auge, welches das *Objekt* fixirt, jetzt nicht mehr auf die Gl *tafel akkommodiren:* die *direkt* vom Glase kommenden Farbenstr len *konvergiren* also *überhaupt* nicht auf der Netzhaut, haben a für den Sehnerven nicht mehr die frühere Intensität.

Wenn man zum farbigen *Objekte* ein farbiges Glas wählt, welc man bei Tage gegen den Himmel und bei Abend gegen eine Lamp kuppel hält; so ergiebt die Beobachtung dieses Glases durch ein Glas v anderer Farbe, welches ich der Kürze wegen das *Okularglas* nenn will, überraschende Resultate.

Wird das Objektivglas dicht auf das Okularglas gelegt; so ersche die *Mischfarbe*, welche sich aus den beiden Glasfarben zusammense Je mehr man aber das Objektivglas entfernt, desto mehr verwandelt si diese Mischfarbe in eine ganz andere. Verwechselt man die beiden Gläs so erscheint die erstere *Mischfarbe*, sobald beide Gläser dicht aufe ander liegen: entfernt man jedoch das jetzt zum Objektive geworde Okular; so geht diese Mischfarbe nicht in die frühere, sondern in ei ganz andere über.

Wendet man z. B. ein bräunlichgelbes und ein blauviolettes Glas a so erzeugt das Aufeinanderlegen beider eine schwache, fahle Farbe, welc ins Bläuliche, Gelbliche oder Röthliche spielt, jenachdem in der Misc farbe, welche im Wesentlichen *weiss* sein muss, das eine oder ande Element ein wenig vorherrscht. Betrachtet man jedoch aus einiger E fernung das gelbe Glas durch das violete; so erscheint es *roth*, und b trachtet man umgekehrt das violete Glas durch das gelbe; so erscheint *grünlich schwarz.*

3. **Spezielle Versuche mit farbigen Gläsern.** Durch ein nahe las Auge gehaltenes gefärbtes Glas erscheinen also die Objekte viel er und von der Glasfarbe viel weniger stark gefärbt, als durch ein Auge entferntes und den Objekten genähertes Glas. Ausserdem kom- jetzt die natürlichen Farben der Objekte zu viel deutlicherer Wirkung. Wirkung hat manches Eigenthümliche, welches aus nachstehender Zu- ienstellung (S. 352 u. 353) in einer generellen Weise entnommen werden . Es sind darin die Farben bezeichnet, welche die Objekte bei der ıchtung durch farbloses und durch verschieden gefärbtes Glas ımen. Die Farbe, welche das farblose Glas erkennen lässt, ist die- Farbe, in welcher der Körper dem freien Auge im Tageslichte er- nt, also die sogenannte natürliche Farbe des Objektes. Streng nmen, hat zwar nur ein selbstleuchtender oder Lichtprozess gender Körper eine bestimmte Farbe, wogegen ein nicht selbst htender oder durch Lichtprozess erst zu erregender Körper eine bestimmte, sondern eine vom erregenden Lichte oder von Beleuchtung abhängige Farbe besitzt: indessen kann man immer der natürlichen Farbe diejenige verstehen, welche der Körper bei Beleuchtung durch Sonnenlicht zeigt.

4. **Einfluss der Nebenumstände.** Da die Farben der Gläser und Objekte aus den einfachen prismatischen Farben in sehr mannichfal- Weise zusammengesetzt sind, was aus dem Totaleindrucke der ıfarbe durchaus nicht erkannt werden kann, diese Zusammensetzung für die vorstehenden Versuche oft von grosser Wichtigkeit ist, in- z. B. ein blaues Glas, welches Roth enthält, mehr rothe Strahlen lässt, als ein scheinbar ganz gleiches blaues Glas, in welchem das fehlt; so wird jeder Experimentator bei der Prüfung der vorstehen- Resultate manche mehr oder minder erhebliche Abweichungen finden. rch, dass das gefärbte Glas gewisse Farbenelemente des Objektes ver- t, erlangen oft schwache Beimischungen solcher Elemente, welche vernichtet werden, eine überwiegende Bedeutung.

So ergeben unter Anderem helle und dunkle Töne derselben oft wesentlich andere Resultate bloss desshalb, weil der hellere eine Mischung der fraglichen Farbe mit weissem Lichte ist, das Licht aber sämmtliche prismatischen Farben enthält, von denen gewisse immer durch jedes gefärbte Glas gehen.

Ebenso markiren sich beim Blicke durch ein gefärbtes Glas in über- ender Weise durch verschiedenartige Färbung diejenigen Flächen ben Objektes, von welchen das Tageslicht direkt in das Auge re- iirt wird, selbst wenn die Reflexion noch weit vom Glanze entfernt aum erkennbar ist, gegenüber denjenigen Flächen, welche nur durch reutes Licht wirken und gegenüber denen, welche durchscheinen, elbst unter den zu jeder einzelnen dieser Klasse gehörigen Flächen cheiden sich die weniger und die mehr erleuchteten oder be- tteten.

So erscheinen z. B. dem durch ein dunkelblaues Glas blickenden Auge lätter desselben Baumes sehr verschiedenartig: die reflektirenden rau, die durchscheinenden rothbraun und die beschatteten grau. Ein

Natürliche Farbe des Objektes	Farbe des Glases, durch we					
	blauroth	roth	gelbroth	orange	gelb	bra
karmin	grau	gelblich +	gelblich-weiss +	karmin	roth	kar
rosa	grau	gelblich +	gelblich +	gelblich rothgrau	grauroth	grau
roth	grau	hellgrau +	hellgrau +	karmin	gelblich-roth	kar
gelbroth	grau	hellgrau +	hellgrau +	gelbroth	rothgelb	ge
orange	grau	hellgrau +	hellgelb +	grau	orange-gelb	or ge
gelb	grau	hellgrau +	weisslich +	grau	weisslich	hell
gelbgrün	grau	grau —	grau —	blaugrau	graugrün-lich	gra lic
gelblich-grün	grau	grau -	grau —	blaugrau	blaugrün	blau lich
grün	braungrau	violetlich grau bis schwarz —	grau —	blaugrau	blaugrün bis grün-blau	blau lich
hellgrün	braun	rothviolet	viol. grau	blaugrau	blau	blau
blaugrün	braungrau	violetlich grau bis schwarz —	schwärz-lich —	blaugrün	grau blau-grün bis grünblau	schw blaug
hellblau	violetgrau	violet —	violet —	schwärzl. blaugrün	grünlich graublau bis blau-grün	vio gra
blau	violetgrau	violet-schwarz —	violet —	schwärzl. blaugrün	grünbläul. schwarz	viol schw
blauviolet	violetgrau	grau +	grau +	schwärzl. braun	rothviolet	rot let
rothviolet	violetgrau	grau +	grau +	karmin	karmin-braun	kar

uge erleuchtet wird

n	grün	blaugrün	blau	violetblau	blauviolet	rothviolet
n un	violetlich-blau —	violetlich braun	violetlich karmin-grau	karmin	roth +	grau-orange +
t- un	violetlich-blau —	violetlich blau	violetlich bläulich-grau —	rosagrau	rosa +	orange-röthlich +
h	violet-braun —	violetlich braun	violetlich karmin —	feurig karmin	braun-gelb +	röthlich-orange +
h	braun —	braun	karmin —	karmin	violetlich roth +	orange +
llb	gelb	graugelb	bräunlich karmin —	karmin	rothgelb	orange-gelb
	weisslich	grau	bräunlich orange —	violetlich karmingrau	orange	orange-gelb
	gelblich grau +	gelbgrün	bläulich-roth —	violetlich karmin	gelb-braun —	braun
	gelblich grau +	gelbgrün	orange-braun —	violetlich karmin	bräunlich —	bräunlich gelbgrün —
	grau +	gelbgrün	gelblich braun —	karmin	bräunlich —	bräunl. —
	grau	grau	grau	röthlich-grau	braun	violetlich schwarz
	dunkel-grau	grau	bräunlich grau —	violetlich	braun —	violetlich schwarz —
	bläulich-grau —	blau	hellgrau +	bläulich grau	blaugrau +	violet-grau
	grünlich blaugrau bis blau-schwarz —	blau	grau +	bläulich grau	blaugrau +	violetlich blau
	blau —	blau	blau-grau +	violetgrau	violet-grau +	roth-violet +
n	graublau bis schwarzbl.	blau bis violetblau	blauviolet-grau +	rothviolet-grau	karmin-grau +	grau +

anderes blaues Glas, dessen Farbe von dem ersteren kaum zu unterschei-den war, machte die durchscheinenden Blätter mehr gelbbraun. Über-raschend war es mir, bei der Überdeckung der eben genannten beiden dunkelblauen Gläser, also beim Blicke durch ein tief dunkelblaue Glas die durchscheinenden grünen Baumblätter und auch das von der Sonn beschienene, stark leuchtende gelbgrüne Wollgarn feurig roth zu er-blicken.

Die gewöhnlichen hellblauen Gläser der Schutzbrillen haben nich Farbentiefe genug, um die vorstehende Erscheinung hervorzubringen.

Wenn man die Wirkung der Farbe des Objektes recht beurtheile will; so muss alles reflektirte Licht möglichst beseitigt und die Farb durchscheinend oder leuchtend gemacht werden.

Ausserdem muss das Auge möglichst verdunkelt, d. h. es mu das seitwärts eindringende direkte Sonnenlicht abgehalten werden. D Standpunkt in einem geschlossenen Zimmer oder in einer schattigen Laub beim Blicke in die von der Sonne erhellte Umgebung ist daher viel gü stiger, als der Standpunkt mitten im Sonnenscheine.

Besonders gut zu Beobachtungen der vorstehenden Art eignen sic die farbigen Wollgarne, indem dieselben im Sonnenscheine ziemlic stark leuchtend werden. Ebenso und wegen ihrer grösseren Fläche of mals noch besser geeignet sind die farbigen Seidenstoffe. Auch Blu men liefern sehr intensive Farben.

Die sehr hellen Töne aller Farben erscheinen fast gleichmäss grau und demnach kann man dieselben leicht verwechseln.

Je heller die Glasfarbe ist, desto mehr kömmt die Farbe d Objektes zur Geltung, desto mehr nähert sich also der Totaleindruck d aus der Objekts- und Glasfarbe bestehenden Mischfarbe. So verwande ein hellrothes Glas das Gelb in Orange, ein hellblaues das Gelb in Grü ein hellgelbes das Blau in Grün u. s. w.

Überhaupt spielt das Verhältniss der Intensität der Farbe d Glases und der Farbe des Objektes eine nicht unerhebliche Rolle, inde dadurch die Nuance der scheinbaren Farbe des Objektes bald mehr i Sinne des einen, bald mehr im Sinne des anderen ihr angehörigen Farbe elementes verändert wird.

5. Farbenverlust und Helligkeitsänderung durch farbige Be-leuchtung. Der Blick oder die Bestrahlung durch farbiges Licht i immer mit dem Verluste gewisser Farben, wennauch nicht imm mit einem Helligkeitsverluste verbunden. Was zunächst die Helli keit betrifft; so erscheinen bei der Betrachtung durch farbiges Gl manche Farben heller und manche dunkler. Die ersteren sind in vo stehender Tafel mit einem +, die letzteren dagegen mit einem — b zeichnet.

Was die Farbenverluste betrifft; so gehen, wenn man von de kleinen Nuancirungen absieht, beim Gebrauche eines tief rothen Glas alle Farben fast vollständig verloren; das Roth, Orange, Gelb und Wei erscheint wenig verschieden von einem röthlichen Weiss und das Grü Blau und Violet nahezu als Grau.

Im tief orangenen Glase giebt es kein Orange, Gelb, Blau un

iolet, auch kein reines Roth und Grün. Orange und Gelb werden grau, lau wird schwärzlich, Violet wird braun, das Roth wird karminlich und as Grün fällt ins Blaue.

Im tief gelben Glase giebt es kein Gelb, Grün und Violet, auch ein reines Blau und Orange. Das Grün wird fast blau, das Violet karinbraun, das Blau ergraut und das Orange verblasst.

Im grünen Glase giebt es kein Roth, Grün und Violet und auch in reines Gelb und Orange. Das Roth wird Braun, das Orange und elb wird Graugelb, Grün wird Grau, Blau und Violet wird Graublau.

Im blauen Glase giebt es kein Gelb, Grün und Blau. Roth und ange werden Karminbraun, Gelb wird Orange, Grün wird Roth, Braun nd Grau, Blau und Violet werden Grau und Blaugrau.

Im violetten Glase giebt es kein reines Roth, Grün und Violet. oth, Orange, Gelb und Grün werden Orange bis Braun, Blau wird Grauau, Violet wird Grau.

Es muss übrigens nochmals erinnert werden, dass die Nuance der rbe des Glases und des Objektes einen grossen Einfluss auf die Erheinung hat und mannichfache Änderungen hervorbringt, auch dass der rbenverlust umso geringer ist, je heller die Glasfarbe ist.

Legt man z. B. ein gefärbtes Glas vor ein Prisma; so verschwinden n den prismatischen Farben die meisten und die übrig bleibenden verlten sich, obgleich sie sonst sehr glänzend sind, wegen ihrer relativ gegen Intensität und weil sie kein Objekt darstellen, auf welches das ge sich akkommodiren kann, vielmehr durchsichtig sind und die dahinliegenden Objekte durchscheinen lassen, mehr wie die hellen Töne undurchsichtigen Objekte, verblassen also und verschwinden mehr als gleichnamigen Farben undurchsichtiger Gegenstände. So nimmt z. B. m Gebrauche des blauen Glases im Prisma Roth eine braune, Gelb eine ngene, Grün und Blau eine bläulich graue, Violet eine graulich blaune Farbe an. Vor einem gelben Glase wird das prismatische Roth unlich, ebenso das Gelb; das Grün und Blau wird bläulich grün. Für Verwandlung der intensiven Farben undurchsichtiger Körper ist diese cheinung nicht maassgebend.

6. Hauptresultat. Wenn man von geringfügigen Abweichungen ieht; so ergeben sich aus den obigen Beobachtungen zunächst folgende ultate. Ein Objekt, welches dieselbe Farbe wie das Glas trägt, ereint bedeutend heller oder verblasst und zwar fast ebenso wie ein isses Objekt durch jenes Glas erscheint, nämlich mit einem leichten luge der Glasfarbe. Ein Objekt dagegen, dessen Farbe kein Element Glasfarbe enthält, vor allen Dingen ein komplementär gefärbtes ekt erscheint bedeutend verdunkelt, häufig fast schwarz, mit m noch näher zu bestimmenden Farbentone. Ein schwarzes Objekt heint schwarz, jedoch mit einem schwachen Anfluge der zum Glase nplementären Farbe.

Da das weisse Objekt alle Farbenelemente, also auch die des Glases hält; so dringen die der Glasfarbe entsprechenden Elemente hindurch demgemäss erscheint das weisse Objekt mit dem Anfluge der Glase. Demgemäss erscheint auch ein schwarzes Objekt, weil es von

weissen oder grauen umgeben ist, in Folge der Kontrastwirkung mi einem schwachen Anfluge der dem Glase komplementären Farbe. Das ein Objekt, welches kein oder doch nur wenige und schwache Element der Glasfarbe enthält, in Folge des Lichtverlustes, welchen die Absorptio des Glases erzeugt, verdunkelt erscheint, ist ebenso klar. Nicht minde leuchtet ein, dass ein Objekt, welches die Farbe des Glases trägt, sein Strahlen ungehindert hindurch sendet, also in seiner Farbe und Licht intensität nicht wesentlich geschmälert werden kann; dass dasselbe abe verblasst und fast ebenso wie ein weisses Objekt erscheint, bedarf eine besonderen Erklärung, auf welche wir weiter unten zurückkomme werden.

Vorher mache ich darauf aufmerksam, dass dieselbe Farbenverände rung, welche beim Blicke durch ein gefärbtes Glas entsteht, sich auc ergiebt, wenn die Erleuchtung des Gesichtsfeldes durch das Sonnenlicht in eine Erleuchtung durch ein Licht von der Farbe jenes Glase verwandelt wird. So sind z. B. die Erscheinungen durch ein gelbes ode vielmehr röthlich gelbes Glas, dessen Farbe aus prismatischem Roth, Grü und wenig Gelb besteht, ganz den Erscheinungen bei Öllampenlicht gleich.

Diese Thatsache findet in den physikalischen Verhältnissen ihre na türliche Erklärung. Denn fällt das Sonnenlicht direkt auf das Objek so regt jenes Licht dieses Objekt zu einem bestimmten, von der physika lischen Beschaffenheit des Objektes abhängigen Lichtprozesse an, welch beim Durchstrahlen des gelben Glases in einen anderen, von der physika lischen Beschaffenheit des Glases abhängigen Prozess verändert wird. Da Resultat ist das nämliche, wie im zweiten Falle, wo das Objekt direk vom gelben Lichte in Lichtthätigkeit versetzt wird, wo also die Modifi kation, welche die Natur des gelben Glases zu ertheilen vermag, schon a dem erregenden Lichte vollführt war. Man braucht sich ja im zweite Falle nur vorzustellen, die gelbe Flamme sei Sonnenlicht, welche durc ein gelbes Glas gedrungen ist. Man hat alsdann in der Erscheinung de ersten Falles Sonnenlicht, welches zuerst im Objekte und zuletz im Glase verarbeitet, d. h. unter der spezifischen Ätherelastizitä dieser Körper verändert ist, in der Erscheinung des zweiten Falles da gegen Sonnenlicht, welches zuerst im Glase und zuletzt im Ob jekte verarbeitet ist. Dass Beides zu einem wesentlich gleichen Ergeb nisse führen muss, da dieses Ergebniss hauptsächlich nur von der Ar nicht aber so sehr von der Reihenfolge der beeinflussenden Medien ab hängen kann, geht aus der in §. 2 No. 3 vorgetragenen Ansicht über di Farben der nicht selbst leuchtenden Körper überzeugend hervor.

7. Das Gesetz der Farbenverwandlung. Ehe wir den gesetz lichen Grund der in den vorstehenden Nummern beschriebenen Farben verwandlung unter dem Einflusse eines fremden Lichtes untersuchen, müs sen wir sicher feststellen, ob der Farbeneindruck eines durch ein farbige Glas betrachteten Objektes lediglich von den Strahlen herrührt, welch von dem Objekte kommen und, nachdem sie beim Durchgange durc das farbige Glas mit der Glasfarbe gemischt sind, in dem Netzhaut bilde des Objektes auf die Netzhaut fallen, oder ob jener Eindruck wo

ıtlich durch die Thätigkeit mit bedingt ist, in welche die Netzhaut rch die Bestrahlung mit der Glasfarbe versetzt wird.

Schon die in No. 2 angeführte Thatsache, dass die Farbe des Ob-ktes sich ändert, wenn man das Okularglas dem Auge nähert, lehrt, ss jener Farbeneindruck nicht lediglich auf der Affektion der Netzhaut rch die vom Objekte ausgehenden und im Glase mit der Glasfarbe ge-chten Strahlen beruhen kann, indem diese Affektion durch die Ver-kung des Glases nicht wesentlich geändert werden würde. Noch be-nmter folgt Diess aber aus folgendem Versuche. Betrachtet man das jekt durch das feine Loch eines Nadelstiches in einem dunklen Karten-tte, indem man das farbige Okularglas dicht vor das Blatt legt; so er-eint das Objekt gerade so, wie wenn man das farbige Okularglas dicht das Objekt hält, nämlich mit der Glasfarbe überzogen, ohne die zifische Farbenverwandlung. In diesen beiden Fällen wird die Netz-t nur an der Stelle des Netzhautbildes des Objektes oder doch nur einem kleinen Bezirke und auch nur von solchen Strahlen getrof-welche vom Objekte ausgehen und beim Durchgange durch das Glas dessen Farben gemischt sind: die Erscheinung ist daher so, wie sie Natur dieser Strahlen ohne fremde Beeinflussung entspricht. Je sser man die Sehöffnung in dem Kartenblatte macht, desto mehr tritt obige Farbenverwandlung ein. Da nun in diesem Falle die Affek-der Netzhaut im Netzhautbilde durch die vom Objekte kom-nden Strahlen fortwährend dieselbe bleibt; so kann die Veränderung von dem Einflusse herstammen, welchen die Erregung der Netzhaut ch die Bestrahlung mit der Glasfarbe ausübt.

Die Bestrahlung des Auges durch die Glasfarbe oder durch ein Auge erleuchtendes farbiges Licht unterscheidet sich nun von der kktion der direkt vom Objekte kommenden und beim Durchgange ch das farbige Glas mit der Glasfarbe gemischten Strahlen dadurch, das bestrahlende Licht irgend einen Punkt der Netzhaut in allen glichen Richtungen trifft oder dass dasselbe diffuses Licht ist, wo-n die vom Objekte kommenden Strahlen regelmässige Kegel bilden, also die Nervenfasern sich nicht auf das bestrahlende Licht, wohl auf die letzteren Lichtkegel akkommodiren können.

Die Glasfarbe ist daher in zwei verschiedenen Beziehungen zu ligen: einmal als Mischungsbestandtheil der vom Objekte aus-ndten regelmässigen Strahlenkegel und sodann in ihrer Wirkung als use Bestrahlung. Die letztere Wirkung setzt sich wieder aus zwei andtheilen zusammen: erstens aus dem Einflusse, welche die Bestrah-der rings um das Netzhautbild des Objektes liegenden Partie Netzhaut auf das Netzhautbild äussert und zweitens aus dem Ein-e, welchen die im Netzhautbilde selbst stattfindende Bestrahlung lieses Bild ausübt. Alle diese Wirkungen lassen sich folgendermaassen echnung stellen.

Ist f die Farbe des Objektes und φ die Farbe des Glases, durch ıes das Objekt betrachtet wird; so kann das Licht, welches vom Ob-aus durch das Glas auf die Netzhaut gelangt und dasjenige, welches ı Bestrahlung auf das Netzhautbild gelangt, als eine Mischung aus beiden Farben f und φ angesehen, also gleich $af + b\varphi$ gesetzt

werden. In dieser Formel haben die beiden Koeffizienten a und b, welc die Intensität der beiden Mischungsbestandtheile darstellen, keine ko stanten, sondern von dem Spektralunterschiede der beiden Farben f u φ und von deren Intensitäten abhängige Werthe. Im Allgemeinen b wirkt das Glas eine Absorption von Licht und zwar umso mehr, dunkler das Glas ist und je mehr sich der relative Abstand der beid Farben f und φ dem Komplementärverhältnisse nähert. Ausserde kann man immer annehmen, dass das bestrahlende Licht φ mit g ringerer Intensität auf das Netzhautbild, als auf die Fläche der Ne haut rings um dieses Bild fällt, weil das Objekt, indem es sein eigenen Strahlenkegel af ins Auge sendet, die Lichtquelle mehr od weniger verdeckt, welche das bestrahlende Licht $b\varphi$ erzeugt.

Vermöge der Kontrastwirkung der lediglich vom Lichte φ b strahlten Fläche der Netzhaut rings um das Bild des Objektes misc sich nun die Farbe dieses Netzhautbildes mit der Komplementärfar $\varkappa$ von φ (§.41 No.3), wird also $= af + b\varphi + c\varkappa$. Der Koefficient c i nahezu null, wenn die Farbe $af + b\varphi$ gleich $\varkappa$ ist und er errei sein Maximum, wenn $af + b\varphi$ komplementär zu $\varkappa$, also gleich ist, was streng genommen voraussetzte, dass $a = 0$ oder dass das Gl ganz undurchsichtig wäre. Da, wie vorstehend erwähnt, die Intensit des Lichtes, welches die Netzhaut rings um das Netzhautbild des Objek bestrahlt, grösser ist, als die Intensität des direkt auf das Netzhautb fallenden Lichtes; so hat der eben erwähnte Kontrast fast immer d Wirkung, die scheinbare Intensität des Objektes zu schwäch oder das Objekt zu verdunkeln. Nur in den Fällen, wo die scheinbare Far des Objektes sich mit Weiss mischt, wo also der eben besprochene Kontra diesen Zusatz von Weiss vermehrt, kann das Objekt eine scheinb grössere Helligkeit annehmen, insofern der Zusatz von Weiss erhe lich genug ist gegen die Intensitätsverminderung.

Im Vorstehenden haben wir nun das direkt auf das Netzhautbild d Objektes fallende und das durch Kontrast der umgebenden Netzhautfläc darin erzeugte Licht in Erwägung gezogen: es ist jedoch nöthig, no der dritten vorhin genannten Wirkung Rechnung zu tragen. Wenn d Auge von dem Lichte φ bestrahlt ist oder wenn dasselbe durch e dicht davor gehaltenes Glas von der Farbe φ blickt; so besteht ein Th der in $af + b\varphi$ enthaltenen Strahlen von der Farbe φ aus den Diff sionsstrahlen des erleuchtenden Lichtes. Diese Strahlen kommen, w schon erwähnt, von allen Richtungen, bilden also keine regelmässig Kegel, wie die vom Objekte ausgehenden Strahlen, veranlassen also au die Nervenfasern nicht zu einer bestimmten Akkommodation, obglei sie eine sensibele Thätigkeit darin erregen. Die Netzhaut ist an den St len, wo sie von solchem Diffusionslichte getroffen wird, in einen Z stand versetzt, von welchem wir wenigstens so viel behaupten könne dass er nicht ein ganz neutraler ist.

Wird eine von der Farbe φ im diffusen Lichte bestrahlte Nerve faser von keinen anderen Strahlen getroffen; so wird darin der Proze der Farbe φ erweckt: wir empfinden also diese Farbe, jedoch nicht so i tensiv, wie wenn die Faser auf einen festen Ausgangspunkt akkommod wäre oder das Licht in einem regelmässigen Bündel ankäme. Trifft ab

solches regelmässiges Strahlenbündel von der Farbe f auf eine diffus trahlte Faser; so wird dieses Bündel wegen der abnormen Erregung · Faser nicht den normalen Eindruck machen können. Wir nehmen ı an, dass der Effekt sowohl die Intensität, wie die Farbe betrifft und ır dergestalt, dass die Intensität des regelmässigen Strahlenbündels schwächt wird und dass der Farbenprozess f nicht rein zu Stande amt, dass vielmehr nur ein Theil der von jenem Bündel ausgehenden pulse seine regelmässige Wirkung thut oder die Farbe f erzeugt, wähld der andere Theil komplementäres Licht k hervorbringt.

Hiernach haben wir statt des Lichtantheils af von der Farbe f ein k gemischtes Licht, also $mf + nk$ zu setzen. Diess giebt für die einbare Farbe F des Objektes den Ausdruck

$$F = mf + nk + b\varphi + c\varkappa$$

Hinsichtlich des letzteren Gliedes $c\varkappa$ in dieser Formel müssen wir vorheben, dass die Energie des Kontrastes oder der Koeffizient c nach ı Gegensatze zu beurtheilen ist, welchen die von der Farbe φ bestrahlte zhautfläche rings um das Netzhautbild des Objektes gegen die scheinte Farbe des Objektes, also gegen den Gesammtwerth von F (nicht a gegen die aus den drei ersteren Gliedern $mf + nk + b\varphi$ bestehende be) bildet. Der Werth von c kann daher, ehe man den Werth von F nt, nur näherungsweise nach der Farbe $mf + nk + b\varphi$ beurtheilt den und muss darauf nach der Ermittlung von F korrigirt werden.

Es wird fast immer $n < m$, also $mf + nk = m'f + nw$ sein. egen kann man nicht sagen, dass in der Regel $c < b$ sein wird, weil Koeffizient c durch den Kontrast bedingt ist, welcher zwischen der dem Lichte φ bestrahlten Umgebung und der Farbe $mf + nk + b\varphi$ eht. Dieser Kontrast wird offenbar umso schwächer, je kleiner die Lichte φ bestrahlte Fläche der Netzhaut ringsum das Objekt im Verch zu dem Netzhautbilde des Objektes selbst wird. Für den Fall also, das farbige Glas unmittelbar auf dem Objekte liegt, wird jener trast, also $c = 0$. Ausserdem hört jetzt, wo das Glas dieselbe Entung wie das Objekt hat, die diffuse Bestrahlung mit der Glasfarbe und demzufolge wird auch $n = 0$. In diesem Falle erhält man daher $= mf + b\varphi$, d. h. die Farbe, in welcher uns unter solchen Umständen Objekt erscheint, ist eine Mischung aus der Farbe des Objektes des Glases.

Untersuchen wir jetzt die Resultate, welche unsere Formel für die tigsten Fälle liefert, wo das Auge wirklich von diffusem Lichte φ rahlt ist.

Ist das bestrahlende Licht weiss, also $\varphi = w$ und demnach sein plement schwarz oder $\varkappa = s$; so erhält man $F = m'f + (b + n)w$ s. Jetzt wird n sehr klein, fast $= 0$, und m' fast $= 1$, also sehr nahe $= f + bw + cs$ sein. Das Objekt erscheint daher in seiner natürlichen bung f, welche entweder mit Weiss gemischt ist, sobald $c < b$ ist, oder Schwarz, sobald $c > b$ ist. Das Erste kann nicht leicht stattfinden, das bestrahlende weisse Tageslicht in der Regel stärker sein wird, als durch dieses Licht selbst erst erregte Farbe des Objektes: es wird daher immer das Letztere stattfinden, d. h. in Folge der Bestrahlung der

Netzhaut rings um das Objekt, wird dasselbe dunkler erscheinen, als es ist (§. 40 No. 2 und §. 70 No. 1).

Hat das bestrahlende Licht die Farbe des Objektes, ist also $\varphi =$ und $\varkappa = k$; so hat man $F = (m + b) f + (n + c) k$. Wenngleich bei Durchgange der Strahlen des Objektes durch das gleichgefärbte Glas Absorption stattfindet, also $m < 1$ ist; so wird doch diese Absorption zum grössten Theile durch die Bestrahlung mit der Glasfarbe ersetzt, sodass jedenfalls $m + b$ einen der Einheit nahekommenden, also ziemlich grossen Werth hat. Die Summe $n + c$ wird kleiner sein als $m + b$, kann jedoch ebenfalls einen namhaften Werth erreichen: denn das vom Objekt kommende regelmässige Bündel mf erzeugt, indem es auf die mit der Intensität $b\varphi = bf$ diffus bestrahlte Faser fällt, eine nicht unbedeutende Menge nk von komplementärem Lichte. Demzufolge wird denn auch die Kontrastwirkung ck nicht ganz gering sein. Die scheinbare Farbe nimmt daher den Ausdruck $F = (m + b - n - c) f + (n + c) w$ an, d. h. das Objekt erscheint mit Weiss gemischt oder verblasst. Nachdem dieses Ergebniss der Verblassung oder des Hellerwerdens des Objektes als ein Nährungsresultat erkannt ist, folgt, dass der auf dem Kontraste beruhende Koeffizient c noch grösser wird, als vorausgesehen ist, d. h. die Farbe des Objektes nähert sich sehr dem Weiss.

Hat das bestrahlende Licht die Komplementärfarbe des Objektes, ist also $\varphi = k$ und $\varkappa = f$; so wird $F = (m + c) f + (n + b) k$. Jetzt ist die Absorption der Farbe des Objektes beim Durchgange durch das Glas sehr gross, also m sehr klein und demgemäss n nahezu $= m$. Die Bestrahlung des Netzhautbildes mit der Glasfarbe, also der Koeffizient b ist mässig; jedenfalls ist das auf dieses Netzhautbild fallende Licht $mf + nk + bk$ schwächer, als das Licht, womit die Umgebung der Netzhaut bestrahlt wird. Der Kontrast bewirkt also noch eine fernere Dämpfung des Netzhautbildes des Objektes und giebt dem Koeffizienten c einen kleinen Werth. Hieraus folgt, dass die Koeffizienten $m + c$ und $n + b$ beide klein und nicht viel voneinander verschieden sind. Das Objekt wird also sehr dunkel, fast schwarz erscheinen und je nach der grösseren Intensität der Farbe des Objektes oder der des bestrahlenden Lichtes einen Anflug von der ersteren oder von der letzteren Farbe haben.

Ist das Objekt weiss, also $f = w$ und $k = s$; so wird $F = b\varphi + c\varkappa + (m - n) w$. Das bestrahlende Licht $b\varphi$ wird das durch Kontrast erzeugte $c\varkappa$ überwiegen; man hat also ferner, indem man $b\varphi + c\varkappa = (b - c)\varphi + cw$ setzt, $F = (b - c)\varphi + (m - n + c) w$. Der Koeffizient m hat hierin einen grossen Werth: das Objekt wird also als ein mit der Farbe des bestrahlenden Lichtes gemischtes Weiss erscheinen.

Ist das Objekt schwarz, also $f = s$ und $k = w$; so sind die beiden Koeffizienten m und n nahezu gleich null und man hat $F = b\varphi + c\varkappa$. Das bestrahlende Licht, welches auf das Netzhautbild des Objektes fällt, also der Koeffizient b ist jetzt verschwindend klein; die durch Kontrast der bestrahlten Umgebung erzeugte Komplementärfarbe oder der Koeffizient c ist, wennauch klein, doch dem b bei weitem überlegen. Demnach wird $F = c\varkappa$; d. h. das Objekt erscheint schwarz, jedoch mit

em schwachen Anfluge der Komplementärfarbe des erleuch-
ten Lichtes.

Wenn f und φ beliebige Farben sind, kann F sehr verschiedene
rbe annehmen. Ist z. B. das Objekt oder die Farbe f Grün und
Glas oder die Farbe φ tief Indigblau; so ist k Purpurroth
Violetroth und $\varkappa$ Gelb (als physiologisches Komplement von In-
lau). Durch das blaue Glas dringt nur wenig dunkles Licht von
grünen Objekte; ausserdem verwandelt sich von dem wirklich hin-
hdringenden Lichte beim Einfallen auf die von diffusem blauen Lichte
ahlten Fasern ein grosser, ja wir müssen annehmen der grösste
l in das komplementäre Roth; sodass der Koeffizient m klein und der
fizient n grösser als m, folglich $mf + nk = (n - m)\,k + mw$, d. h.
mit Weiss gemischtes Roth ist. Die Bestrahlung des Netzhautbil-
durch die Glasfarbe, wenn das Glas überhaupt tief gefärbt und das
kt ein gesättigtes Grün ist, ist schwach, also b klein. Der Kontrast
mliegenden Netzhautfläche überwiegt diese direkte Bestrahlung, es
sso $c > b$ oder $b\varphi + c\varkappa = (c - b)\,\varkappa + bw$, d. h. die letzten bei-
Glieder des Ausdruckes von F stellen ein mit etwas Weiss gemischtes
dar. Hierdurch wird $F = (n - m)\,k + (c - b)\,\varkappa + (m + b)\,w$,
Objekt erscheint also als ein mit Weiss gemischtes Gelbroth, wel-
bald dem Roth, bald dem Gelb näher steht.

Übrigens leuchtet ein, dass wenn der Koeffizient m nahezu $= n$ und
Koeffizient b nahezu $= c$ wird, wie es sich bei schwächerer Störung
Kontrastwirkung des blauen Glases, insbesondere dann ereignet, wenn
Objekt mehr blaugrün ist, die scheinbare Farbe des Objektes nahe-
$= m\,(f + k) + b\,(\varphi + k) = (m + b)\,w$, also im Allgemeinen
sein wird.

Ist das Objekt dagegen gelbgrün, also die Komplementärfarbe k
rroth; so wird die scheinbare Farbe desselben Violetroth oder
in werden.

3. Besondere Erscheinungen im farbigen Lichte. Die Haupt-
ng der Überstrahlung des Auges mit einem farbigen Lichte besteht
ch in Folgendem: Das Weiss bleibt sehr hell, nimmt aber einen
des farbigen Lichtes an, erscheint also schwach gefärbt. Das
che Schwarz bleibt schwarz, da seine Lichtintensität null ist;
ge des Kontrastes und da im Auge vermöge der organischen Thä-
niemals absolute Finsterniss herrscht, nimmt dasselbe aber einen
der Komplementärfarbe des farbigen Lichtes an. Ein Objekt
er Farbe des Erleuchtungslichtes erscheint in diesem Lichte weiss
ielmehr wegen des allgemeinen Lichtverlustes grau, im Allgemei-
er erhellt. Ein Objekt von der Komplementärfarbe des Er-
ungslichtes wird verdunkelt und mit einer gewissen Färbung ver-
welche für die verschiedenen Farben verschieden ist. Die übrigen
werden nach Maassgabe der obigen Tafel theils erhellt, theils ver-
t und mehr oder weniger in ihrer Färbung verändert.

chliesslich müssen wir noch hervorheben, dass für die obigen Resul-
as Erleuchtungslicht des freien Gesichtsraumes nicht ganz
iesslich, sondern in Verbindung mit den Farben der darin lie-

genden Objekte maassgebend ist, weil diese durch Reflexion Erleuchtungslicht mit bedingen.

In der Regel wird Ersteres vorherrschen; es kommen jedoch a Fälle vor, wo das Licht der Objekte eine wesentliche Rolle mitspielt. wird der Aufenthalt im dichten Walde, wo das Grün der Objekte deutend wird, ja selbst der Blick auf eine sehr grosse grüne Fläc die Farbeneindrücke im Wesen des grünen Lichtes mitbestimmen.

In der That erscheinen Farbenzusammenstellungen, welche das A im Salon befriedigen, im grünen Haine oftmals nicht mehr passend u die Farbenarchitektur der städtischen Gebäude erweis't sich nicht m geeignet für Landhäuser in parkartiger Umgebung.

Allgemein bekannt ist der verschiedene Eindruck, welchen die Far bei Tages- und bei Lampenlicht machen, ja selbst die Gaserleuchtung Neuzeit wird ihren Einfluss auf die Balltoilette nicht verfehlen.

Recht bemerkbar ist auch der Einfluss einer schneeweissen W terlandschaft auf die Farben der Objekte. Namentlich erscheinen blendendem Schnee die Farben der an freien Strassen stehenden Gebä sehr verändert und es werden in den Tönen der getünchten Häu Nuancen auffallend, welche dem Auge vorher als gleichfarbig erschien

9. Bedeutsamkeit des weissen Lichtes in der Natur. A Vorstehendem erkennt man, wie wichtig es für unser Auge ist, in ein von weissem Lichte erleuchteten Raume zu leben. Hierdurch allein w die wesentliche Bedingung des vollkommenen Sehens erfüllt, dass Farben der Objekte als unterscheidende Merkmale möglichst sch hervortreten; Diess liesse sich nicht erzielen, wenn das erleuchtende Li in irgend einer bestimmten Farbe erschiene. Denn das Licht, welches d Zweck der Erleuchtung der Objekte erfüllen soll, muss an sich s intensiv sein; durch die Verbindung einer intensiven Farbe (oder vielm eines intensiven Farbeneindruckes) mit anderen Farben geht aber th die Kräftigkeit der Unterschiede verloren, theils ist nach Obig die Verwandlung der Farben und der Verlust an spezifisch Farben sehr bedeutend. Die Objekte können also im Allgemeinen r deutlich, kräftig und richtig gefärbt erscheinen, wenn das Erleuchtun licht den Eindruck des Farblosen macht und wie das weisse Li keine Verwandlung des Farbenprozesses veranlasst.

Hieraus erklärt es sich auch, dass wir des Sonnenlichtes, welches Tage beim Blicke in die Natur in unser Auge dringt, fast gar nic gewahr werden, obgleich dasselbe doch quantitativ so sehr bedeutend

Wenn wir recht lange in irgend einem Lichte, sei es ein rothes o blaues, lebten, bis sich das ganze Auge vollkommen an dieses Licht wöhnt hätte, würden wir zwar nahezu die Empfindung haben, in ein farblosen Lichte zu leben, eine Empfindung, welche mehr oder wenig schon beim Blicke durch ein gefärbtes Glas und noch besser beim Aufe halte in einem künstlich erleuchteten, z. B. von Kerzenlicht bestrahlt Raume eintritt: allein immer würde der Reichthum und der Unte schied der Farben wesentlich beschränkt sein.

10. Disposition der Netzhaut, welche die Komplementärfarbe **'orruft.** Aus den Betrachtungen in No. 7 ziehen wir zwei Sätze her- welche eine besondere Beachtung verdienen.

Der erste Satz lautet: Wenn ein Lichtstrahl auf eine Ner- 'aser fällt, welche durch eine andere Lichtaffektion gt ist; so kann jener Strahl nicht seine normale Wir- g vollbringen: er wird in seiner Intensität geschwächt ein Theil seiner Kraft wird auf die Erzeugung der ıplementärfarbe in jener Nervenfaser verwandt.

Namentlich thut das den allgemeinen Gesichtsraum erleuch- le, also die ganze Netzhaut bestrahlende Diffusionslicht eine e Wirkung. Dieselbe kann als eine Veränderung des norma- Zustandes des Systemes von organischen Gebilden sehen werden, welche die eigentliche Netzhaut ausmachen, deren ıgsglied also das Stäbchen ist und dessen Endglied in die periphe- Spitze der Nervenfaser übergeht. Jede besondere Farbe des er- tenden Lichtes wird jenen Zustand der Netzhaut in besonderer Weise en und diese Besonderheit spricht sich dadurch aus, dass sie das ıältniss bedingt, in welchem die normal eindringenden Strahlen- ihre Komplementärfarbe hervorrufen. Stellt man also das Ver- ss, in welchem sich die Komplementärfarbe für die sukzessiv aufein- folgenden prismatischen Farben einstellt, durch eine Kurve dar; ird diese Kurve eine andere Gestalt annehmen, jenachdem das htende Licht roth oder orange oder gelb u. s. w. ist; es wird wohl das Maximum, wie auch das Minimum der auftauchenden lementärfarbe für einen normalen Strahlenkegel von gegebener e f durch die Farbe φ des erleuchtenden Lichtes bedingt sein as diesem Maximum oder Minimum entsprechende Erleuchtungslicht d ein anderes werden, wenn die Farbe f des normalen Kegels eine e ist.

Als zweiten Satz glauben wir aus den Erscheinungen der Farben- ndlung in farbigem Erleuchtungslichte folgendes Resultat ziehen zu ı. Die Kontrastwirkung, welche zwei verschieden irte Stellen der Netzhaut nach sich ziehen, und he theils in der Steigerung des Intensitätsunter- edes, theils in der Hervorrufung der Komplementär- en ausserhalb der direkt affizirten Stelle besteht, ist lebhafter, wenn die Nervenfasern in diesen Netzhaut- en auf die Strahlen nicht gehörig akkommodirt sind, ntlich also, wenn jene Strahlen durch diffuses Licht rahlt sind.

Die vorstehenden beiden Sätze führen zu dem Ergebnisse, dass die se Bestrahlung der Netzhaut nicht bloss ihre Wirkung auf jede ahlte Faser äussert, indem sie daselbst die Komplementärfarbe des alen Lichtes der Objekte hervorruft, sondern auch auf jede rhalb der bestrahlten Fläche liegende Faser, indem sie daselbst omplementärfarbe des Erleuchtungslichtes erzeugt. Durch Vor- des ist also die Ursache näher definirt, welche den in No. 1 erwähn-

ten Spannungszustand oder die Disposition der Netzhaut in Hinsi auf Farbenempfindung hervorruft und zugleich die Wirkung davon na gewiesen.

§. 69.

Fehlerhafter Farbensinn. — Daltonismus.

1. **Wesen des fehlerhaften Farbensinnes.** An unsere letzte Untersuchungen schliesst sich unmittelbar die Betrachtung über denje gen Gesichtsfehler, bei welchem die Farbeneindrücke nicht rich empfunden werden. Die Abnormitäten, welche der fehlerhafte Fa bensinn aufweis't, sind äusserst mannichfaltig: im Wesentlichen hal die mit diesem Fehler behafteten Personen gewisse Farben für glei allein in Beziehung auf die einander gleichenden Farben herrscht grösste Verschiedenheit. Wenn es auch häufig Komplementärfarben si welche miteinander verwechselt werden, wie z. B. Roth und Grün; werden auch ebenso häufig andere Farben miteinander verwechselt od für Grau gehalten, und es ist überhaupt nicht festgestellt, dass da, Roth und Grün nicht unterschieden werden, Diess wirklich komplem täre Farben sind.

Die Bestimmung dieses Buches schliesst eine umständliche Detai rung der verschiedenen Arten des fehlerhaften Farbensinnes aus. Ich v zichte hierauf umso mehr, als ich gefunden habe, dass die gewöhnlich Beschreibungen sehr ungenügend und ungenau sind und dass umfassen Versuche erforderlich sind, um das wahre Wesen einer solchen Fehlerh tigkeit festzustellen. Dagegen kann ich mir nicht versagen, die spezielle Beschreibung eines Einzelfalles zu liefern, welchen ich näher zu beobac ten Gelegenheit gehabt habe.

2. **Spezieller Fall von Daltonismus.** Mein ältester Sohn ist m jenem Gesichtsfehler behaftet. Zwei Brüder meiner Frau besitz denselben Fehler in ähnlicher Weise, wogegen mir aus meiner eigen Familie ein Fall dieser Art nicht bekannt ist. Es scheint hier eine er liche Übertragung durch die Mutter vorzuliegen, während Letztere sel doch davon verschont geblieben ist. Noch unzweifelhafter wird Diess d durch, dass auch ein Bruder der Mutter meiner Frau diesen Fehl besass. Der vorliegende Fall bestätigt also die auch sonst schon gemach Beobachtung, dass der Fehler erblich ist, dass er aber vorzugsweise d männliche Geschlecht heimsucht. Dieser Fall ist dadurch gewiss inte essant, dass er eine Vererbung über vier Generationen nachweis't, man aus der Behaftung des Bruders der Grossmutter und der Ve erbung durch die Grossmutter selbst nothwendig auf die Abstammu von den Urgrosseltern schliessen muss. Hierbei ist zugleich bemerken werth, dass die Vererbung stets durch das weibliche Geschlecht g schehen, die Erscheinung jedoch nur an dem männlichen Geschlech aufgetreten ist. Wenngleich das Auge der weiblichen Familienmitglied von dem mangelhaften Farbensinne völlig verschont geblieben ist; so zei

der Gesichtssinn derselben eine andere und zwar ebenfalls erbliche vüche, welche sich meistens als Fernsichtigkeit kund giebt.

Der vorstehend erwähnte Farbensinn äussert sich folgendermaassen. Sohn kennt die drei Grundfarben Roth, Gelb und Blau, ebenso wohnt lie Empfindung für Weiss und Schwarz und für die dazwischen lie-en Stufen von Grau bei. Die Fehlerhaftigkeit äussert sich vornehm-bei den beiden Mischfarben Grün und Violet, sowie in schwächerem bei Orange und den verschiedenen zwischen den Haupt- und diesen farben liegenden Nuancen, wozu namentlich das Fleischroth als Mi-g von Roth und Blau gehört.

Eine ganz richtige und sichere Vorstellung hat er fast für keine schte Farbe. Eine solche erscheint ihm, wenn die eine Farbe sehr rrscht, wie diese Farbe: ist das Vorwalten der einen Farbe nicht stark; so scheint sich diese Farbe mit Grau zu mischen, schmutzig bräunlich zu werden: bei ziemlicher Sättigung beider Farben er-tt die Mischfarbe als ein grauer Ton der einen Hauptfarbe und wohl nfach Grau, besonders in den blassen Tönen oder bei schwacher uchtung. Bei recht intensiver Wirkung tritt wohl das Gefühl für Mischung von Roth und Gelb, jedoch niemals von Gelb und Blau zu hervor: dagegen erscheint eine gewisse Nuance des Grün bei genü-r Intensität roth. Ebenso erscheint ihm das Violet meistens blau. ittelstufen sind mit Grau gemischt. Wenn das Violet dem Roth nahe also ein Karminroth oder Fleischroth ist; so erscheinen ihm assen Töne einfach grau. So gelten ihm die rothen Wangen eines nlichen Gesichtes, viele Rosen und das hell rosafarbene Papier für Wenn jedoch ein Blatt des letzteren Papiers gegen die Sonne ge-wird, sodass es durchscheinend stark leuchtet; so wird es röthlich. ein hoch geröthetes Gesicht nimmt eine rothe Färbung an, welche aue spielt. Die Rosen sind nicht sämmtlich von derselben Farbe; ll- und blassrothen erscheinen weisslich grau, die hochrothen (de-rbe mit Blau gemischt ist) bläulich grau und die dunkelrothen

ine grüne Farbe existirt für ihn durchaus nicht. Ein tiefes ün ist ihm blau und ein hohes Gelbgrün gelb. Die Mitteltöne rün sind ihm bei mässiger Beleuchtung grau, bald mehr, bald r schwärzlich. Eine Nuance jedoch, bei welcher das Gelb nicht k vorherrscht, dass die ganze Farbe gelb erschiene, erscheint ihm nügender Intensität roth. Die schwachen Intensitäten jedes Grüns m grau. So ist ihm das helle, frische Grün der Gewächse, beson-as des jungen Rasens, auch des Buchsbaums, roth wie Blut; ein Kleeblatt und die feuerrothe Blume des Geraniums hält er für arbig roth; das dunkle, alte Grün der meisten Blätter der Bäume auden dagegen grau oder gelblich grau, das Brillantgrün der Ma-lches häufig Lauben und Gartenbänke tragen, schwärzlich wie Wenn jedoch die grünen Blätter der Gewächse genügend beleuchtet, namentlich wenn sie in Folge des von hinten her ein-nden Lichtes durchscheinend werden, nehmen sie alle mehr eniger die rothe Farbe an.

eser Gesichtsfehler ist meines Erachtens genau derselbe, womit

auch Dalton behaftet war und welchen man hiernach Daltonism nennt. Die Abweichungen, welche man in verschiedenen Beschreibun des Daltonismus theils unter sich, theils mit dem vorstehenden Falle fin schreibe ich sämmtlich auf Rechnung unvollständiger Beobachtung, da, wir im vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, die Nuance und Beleuchtung der vorgelegten Objekte einen grossen Einfluss auf die scheinung haben. Dass ausserdem der eine mit diesem Fehler Behaf das Grüne roth, der andere aber das Rothe grün nennt, ist unwesent da ihm beide Farben (d. h. in gewissen Nuancen) als gleich erschei

Im Übrigen liegt das Hauptkriterium dieses Fehlers nicht darin, d die Empfindung für Roth mangelhaft ist, wie die Ophthalmologen zum annehmen: vielmehr ist die Empfindung für Roth von genügender Int sität sehr wohl vorhanden, wennauch geschwächt, und der Hauptma besteht darin, dass das Grün sich wie Roth, dass das Violet sich wie B äussert, und dass alle sehr hellen und alle unreinen Farbentöne gr erscheinen. Genauer lässt sich aber der Daltonismus folgendermaas definiren.

3. Beziehung des Daltonismus zu der Disposition des Au auf blaues Licht. Es hat mich in hohem Grade die Wahrnehm überrascht, dass der Blick des normalen Auges durch ein blaues G von gewisser Nuance, insbesondere durch ein tief blaues, ein klein we ins Violette spielendes Glas in den Hauptsachen ganz gleiche fekte hervorbringt, als der vorstehend beschriebene fehlerhafte Farbens

Ein solches Glas vernichtet nahezu alles Grün, lässt aber kei wegs alle grünen Töne gleichartig erscheinen. Das helle frische Blattg namentlich wenn dasselbe vermöge der Beleuchtung durchschein auftritt, wird braunroth bis blutroth; die Blätter, welche stark Sonnenlicht reflektiren, werden blaugrau; die im Schatten liegenden dunkelgrünen Blätter, sowie die meisten grün angestrichenen Gegenstä werden grau und schwärzlich. Das helle und mittlere Rosenro wird weisslich oder hellgrau; das violetliche schwarzgrau oder ein we violet. Ein von der Sonne beschienener Rosenstock macht einen eig thümlichen Eindruck: manche Blätter (die durscheinenden) erschei rothbraun, manche (die reflektirenden) blaugrau, manche (die im Schat liegenden) schwarzgrau und die Rosen weissgrau oder schwarzgrau. I stark gefärbte Fleischroth wird bläulich. Das Violet wird blau.

Der Blick durch ein solches tiefblaue, ins Violette fl lende Glas lässt also dem normalen Auge alle Gegenstände denselben Farben erscheinen, in welchen das mit dem Dal nismus behaftete Auge dieselben erblickt. Ich schliesse hi aus, dass diese Fehlerhaftigkeit auf derselben Abnormität b ruht, in welche ein normales Auge versetzt wird, wenn d selbe durch **blaues Licht** erleuchtet oder auf die blaue Far disponirt wird.

4. Allgemeiner Grund des fehlerhaften Farbensinnes. I Grund des fehlerhaften Farbensinnes liegt meines Erachtens in einer a normen Spannung, welche zwischen den Organen der Netzh herrscht und welche bewirkt, dass die Ätherimpulse, welche di

täbchen treffen, nicht in der planmässigen Weise in den chemi-
n Prozess verwandelt werden.

Man könnte zwar auch daran denken, die Ursachen des fehlerhaften nsinnes in einer abnormen stofflichen Beschaffenheit der Substanz Sehnerven zu suchen, dergestalt, dass die Vibrationen, welche in der nsubstanz eines normalen Auges den normalen Chemismus oder Farrozess erzeugen, in dem Nerven des abnormen Auges einen abnormen ss hervorriefen. Allein diese Hypothese erscheint mir desshalb weannehmbar als die vorhergehende, welche die Abnormität nicht in toffliche des Sehnerven, sondern in das Mechanische der Zwiglieder legt, weil es Mittel giebt, das fehlerhafte Auge zu einer nor- Funktionirung zu nöthigen (No. 5), derartige Mittel aber wohl re oder mechanische Verhältnisse, nicht aber so leicht stoffliche Zuensetzungen zu ändern vermögen. Ausserdem spricht das beobachtete iche Auftreten und Verschwinden dieses Fehlers in pathologischen nden gegen die letztere Hypothese.

Keinenfalls ist übrigens der fehlerhafte Farbensinn nach der Ansicht er als eine Lähmung oder Unempfindlichkeit des Sehnerven für se Farben aufzufassen. Denn das Auge reagirt ja auf die Farben, e es verwechselt, oft sehr lebhaft; es entsteht also durch jene Farbe nsueller Prozess, welcher in Beziehung auf Intensität ganz normal ann und nur in qualitativer Hinsicht abnorm ist, mithin nicht harakter von Lähmung oder Farbenblindheit trägt.

Wir finden also den Grund des fehlerhaften Farbensinnes in einer rmität der Beziehungen, welche zwischen den Organen der Netzhaut en.

Dass diese Beziehungen, auch wenn sie fehlerhaft sind, d. h. dem alverhältnisse nicht entsprechen, regellos wären, lässt sich aus nicht annehmen, ebensowenig wie die Beziehungen in einem oder fernsichtigen Auge es sind. Von den organischen Grundge- des Sehens werden jene Beziehungen jedenfalls beherrscht. Diese auung in Verbindung mit dem vorstehenden Erfahrungsresultate uns zu dem Schlusse, dass jeder fehlerhafte Farbensinn irgend der abnormen Zustände ist, in welche das normale Auge durch Erleuchtung mit irgend einem farbigen Lichte versetzt Um den experimentellen Beweis für diese Ansicht zu führen, be- es nur einer Vergleichung der verschiedenen vorkommenden fehler- Farbensinne mit den Resultaten der im vorhergehenden Paragraphen No. 3 mitgetheilten Tabelle der Farbenverwandlungen. Hierzu ist eine viel gründlichere und systematischere Untersuchung und Beoung jener Fehler erforderlich, als ich sie in den Büchern finde.

Gleichwohl gewährt eine Vergleichung der Beschreibung der wich- Arten des fehlerhaften Farbensinnes nach Ruete mit den Resul- des vorhergehenden Paragraphen eine auffallende Bestätigung unse- sicht.

So wird die Achromatopsie als ein Fehler bezeichnet, bei welchem Weiss und Grau unterschieden wird. In der That ist Diess die liche Wirkung des rothen Glases. Im rothen Lichte verschwinden lich alle Farben: das Roth, Orange und Gelb wird hell oder röthlich

grau, wie das Weiss; das Grün, Blau und Violet wird so dunkel, dass d selbe bei genügender Intensität des Roth nur schwärzlich oder grau scheint.

Die Akyanopsie soll nur Weiss, Gelb und Schwarz erkennen lass und namentlich Roth und Blau leicht verwechseln. Diess entspricht se nahe der Wirkung des grünen Glases.

Dass der Daltonismus den Farbenverwandlungen durch blau oder violetblaues Licht entspricht, ist schon in No. 3 gezeigt.

Ausser dem Daltonismus, der Achromatopsie und der Akyanop habe ich keine Beschreibung eines fehlerhaften Farbensinnes geles welche den Eindruck der Zuverlässigkeit machte. Die erwähnten d Arten scheinen aber die aufgestellte Ansicht hinreichend zu bestätig und jeder Zweifel würde gehoben sein, wenn das grüne und das rothe G bei den letzten beiden Arten dieselbe paralysirende Wirkung äusserte, w das gelbe Glas beim Daltonismus (No. 5).

5. **Farbige Gläser zur Milderung des fehlerhaften Fa bensinnes.** Wichtig kann die vorstehende Beobachtung in ophth mologischer Hinsicht dadurch werden, dass dieselbe vielleicht ein Weg zur Aufhebung oder Milderung des fehlerhaften Fa bensinnes zeigt. Die Gleichheit des Farbeneindruckes, welchen d fehlerhafte Auge bei freiem Gebrauche und das normale Auge be Gebrauche eines farbigen Glases empfängt, berechtigt zu der A nahme, dass der fehlerhafte Farbensinn durch farbige Brillen zu ve bessern sei, wenngleich der vollständigen Aufhebung durch dies Mittel die Schwierigkeit entgegensteht, dass in vielen Fällen Gläser v grosser Farbentiefe erforderlich sind, welche viel Licht absorbiren, u dass auch möglichster Abschluss des seitlichen Sonnenlichtes wünsche werth ist. In Beziehung auf den vorhin beschriebenen Gesichtsfehl welcher dem Zustande entspricht, in welchen ein normales Auge durch e blaues oder ein etwas ins Violette fallendes Glas versetzt wird, müss man eine Brille von dem (physiologisch) komplementären Gelb, welch sich vielleicht ein wenig dem Grün nähert, für das richtige Hülfsmitt halten. Es wäre übrigens auch möglich, dass eine etwas ins Orang fallende Nuance des Gelb günstiger wäre, insofern das Verhältniss d objektiv Komplementären sich neben dem Verhältnisse des subjekti Komplementären geltend machte.

In der That findet dieser Schluss sofort seine Bestätigung in d Thatsache, dass der beschriebene Gesichtsfehler bei Lampenlicht sic weniger stark ausprägt, als bei Sonnenlicht. So versichert der ei Bruder meiner Frau, welcher diesen Fehler in geringerem Grade als me Sohn besitzt, bei Licht sehr wohl diejenigen grünen und rothen Farb zu unterscheiden und für die richtigen zu erkennen, welche er bei So nenlicht verwechselt und bald für roth, bald für grün hält. Auch me Sohn hält bei Lampenlicht diejenigen Farben, welche er bei Tageslic verwechselt, nicht mehr für identisch, obgleich ihm das Grün noch nic grün erscheint.

Die vorstehende Betrachtung und die letztere Thatsache machte mic wie leicht zu erachten, begierig, den Effekt der verschiedenen Nuance

elb und orange gefärbten Gläser auf ein daltonistisches Auge zu chten. Die Verwirklichung war nicht leicht: ich machte bald die rung, dass weder Glashütten, noch Glashändler, noch Glasmaler über Gelb, reines Orange und überhaupt über reine Mischfarben von und Roth zu verfügen haben: alle Gläser dieser Art sind bräunlich grünlich. Eine zweite Schwierigkeit besteht darin, dass man die n reinen Farben, namentlich die gelben, nur in sehr hellen oder achen Tönen haben kann, während das obige Experiment sehr ige oder tiefe Farben erfordert.

Nach vielem Bemühen war es mir gelungen, einige Stücke leidlich reillgelbes Glas angefertigt zu erhalten. Obgleich hiermit kein glänzenesultat zu erwarten war; so hatte ich doch die Freude, die Richt der obigen Voraussetzung damit unzweideutig bestätigen zu können. und mehr Platten dieses gelben Glases mit einer Platte blassrothen zusammengelegt, lieferten ein orangefarbenes Medium von solcher ng und Intensität, dass mein Sohn vermittelst desselben sofort dien grünen und rothen, sowie diejenigen violetten und blauen n voneinander unterschied, welche er früher für gleichfarbig hielt; dem erkannte derselbe durch diese Gläserschicht das Grün und das t als besondere Farben, von welchen er bis dahin noch Vorstellung gehabt hatte. Insbesondere erschien ihm sowohl rün der Pflanzen, welches er Roth nennt, und das meiste Grün der arben, welches er Grau oder Schwärzlich nennt, als Nuancen einerselben für ihn bis dahin ganz neuen Farbe, welche er mit der ihm früher bekannt gewordenen Farben vergleichen konnte. zeichnete diese Farbe als eine solche, welche eine Verwandtschaft lau habe, aber weder Blau noch Grau sei.

ie vorstehende Wirkung war nun zwar, soweit das Prinzip davon t ist, befriedigend; sie zeigte deutlich den zu verfolgenden Weg, geauch die Annahme, dass jeder fehlerhafte Farbensinn auf einer n Farbenakkommodation des Auges beruht und durch ein komplear gefärbtes Medium aufzuheben ist: gleichwohl war der Erfolg nicht für die Praxis des Lebens ausreichend. Die neuen Farben Grün olet traten noch nicht mit gehöriger Kraft und Reinheit hervor: ohn erklärte, dass ihm diese Farben zwar neu, aber nicht sehr erschienen; er halte sie von allen Farben für die am wenigsten annen und würde in Bezug auf Schönheit nur Grau für noch niedriger l erklären.

Bestimmung der Glasfarbe oder des Erleuchtungslichtes ufhebung spezieller Augenfehler. Wenn die im vorhergehenden aphen vorgetragenen Ansichten über die Wirkung der diffusen ahlung auf die Netzhaut, sowie die im gegenwärtigen Paragraphen te Annahme über die Ursache des fehlerhaften Farbensinnes, ndere darüber richtig sind, dass diesem Fehler ein Zustand der ut zu Grunde liege, welcher dem durch Bestrahlung mit farı Lichte entstehenden Zustande gleich sei; so muss sich auf rallem Wege die Farbe desjenigen Erleuchtungslichtes bestimmen welches einen gegebenen fehlerhaften Farbensinn aufhebt.

Man übersieht leicht, dass die gesuchte Farbe das Kompl ment von derjenigen Farbe sein muss, auf welche das fehle hafte Auge disponirt ist. Denn angenommen, das fehlerhafte Auge auf die Farbe φ disponirt, befinde sich also in demselben Zustande, w cher in einem normalen Auge durch die Bestrahlung mit der Farbe entsteht. Betrachtet dieses Auge irgend ein Objekt von der Farbe f; erweckt die Bestrahlung der rings um das Netzhautbild des Objektes genden Fläche in dem Netzhautbilde die Komplementärfarbe von φ, a die Farbe $\varkappa$. Wird nun dieses fehlerhafte Auge in ein Erleuchtungsli von der Farbe $\varkappa$ versetzt; so kömmt es in die Lage eines normalen Au welches nicht bloss von der Farbe φ, sondern auch von der Fa $\varphi + \varkappa = w$, also von weissem Lichte bestrahlt wird. Demgem kann jetzt in dem Netzhautbilde als Komplementärfarbe ebenfalls n Weiss (oder Grau) erweckt werden.

Ausserdem bewirkt die Fehlerhaftigkeit dieses Auges wie die Bestra lung eines normalen Auges mit dem Lichte φ, dass sich in dem Netzhau bilde nicht die reine Farbe f des Objektes, sondern zugleich die Komp mentärfarbe k erzeugt. Wird aber dieses Auge ferner mit der Farbe bestrahlt, sodass dasselbe einem normalen Auge gleich wird, welches m weissem Lichte bestrahlt ist; so hebt sich auch der letztere Effe auf, weil die Bestrahlung mit weissem Lichte dem normalen Auge kei abnorme Empfänglichkeit für die Farbe ertheilt.

Durch das zuletzt beschriebene Experiment wird nun in der Th diese Wirkung der komplementären Glasfarbe für den Daltonismus b stätigt. Diese Bestätigung ist daher als eine wesentliche Stütze für unse Ansichten über die Disposition des Auges im farbigen Lichte und üb den fehlerhaften Farbensinn zu betrachten.

Nach Vorstehendem betrachten wir also den fehlerhaften Farbensi als eine Disposition des Auges auf eine bestimmte Farbe, ein Zustand, welchen man im Allgemeinen die Farbendisposition nenn kann. Hiernach beruht der Daltonismus in der Blaudispositi oder stellt den Zustand eines blaudisponirten Auges dar.

Wenn die letzteren Ansichten allgemeine Gültigkeit haben; so müss die Achromatopsie Rothdisposition sein und durch grünes Lic zu paralysiren sein, welches je nach den Umständen mehr blaugrün od mehr gelbgrün zu wählen wäre.

Ebenso müsste als Gegenmittel der Akyanopsie oder der Grü disposition ein rothes Glas dienen, welches je nach den Umstände mehr in Karmin (ins Blaue) oder mehr in Zinnober (ins Gelbe) spielte.

Versuche hierüber anzustellen, muss ich Denen überlassen, welch Gelegenheit haben, diese Gesichtsfehler gründlich zu studiren. Übrige bemerke ich noch, dass unter Umständen die Farbe des neutralisirend Glases nicht eine einfache, sondern eine zusammengesetzte wi sein müssen.

§. 70.

isposition des Auges zur richtigen Beurtheilung der Helligkeit und zum scharfen Sehen.

1. **Einfluss der Helligkeit des Gesichtsraumes auf die schein- Helligkeit des Objektes.** Das Licht, welches den Gesichtsraum :htet und bei dem allseitigen Eindringen in das Auge den optischen ıen ein bestimmtes Spannungsverhältniss, eine bestimmte Farben- osition ertheilt, also die Beziehung regelt, nach welcher die Vibra- les Lichtäthers sich in der Sehnervensubstanz in einen chemischen ss verwandeln, kann diesen Prozess nicht qualitativ oder in der e beeinflussen, ohne ihn zugleich quantitativ oder in der In- ität zu modifiziren. Übrigens ist zur Beeinflussung der scheinbaren nsität der Objekte nicht nothwendig eine Bestrahlung durch an- farbiges Licht erforderlich; schon die Bestrahlung mit gleich- gem Lichte von verschiedener Intensität ruft jene Wirkung ., wie aus §. 68 No. 7 leicht zu deduziren ist.

)bgleich hiernach Farben- und Intensitätsveränderungen im neinen stets gleichzeitig vorkommen; so sind sie doch ihrem in- n Wesen nach verschiedenartige Erscheinungen. Der wichtigste Fall ziehung auf die Intensitätserscheinungen ist offenbar der, wo die enveränderung ganz fehlt oder doch sehr schwach ist und nur tensitätsveränderung hervortritt. Dieser Fall findet statt, wenn ıge mit weissem Lichte bestrahlt wird. Alsdann ändern sich nach No. 7 die scheinbaren Farben der Objekte nur in der Weise, dass t mehr oder weniger weissem Lichte gemischt, also heller er) oder dunkler erscheinen.

)er gewöhnliche Aufenthalt im Tageslichte entspricht diesem Die Erhöhung und die Verminderung des Tageslichtes, welches das bestrahlt, ändert die scheinbare Helligkeit der Objekte. Mit dieser keitsveränderung ist dann eine andere, für das Sehen höchst wich- Virkung, nämlich die Veränderung der Schärfe des Sehens oder eutlichkeit der Objekte verbunden, indem die intensiver er- Nervenfaser den Lichteindruck schärfer oder deutlicher zum Bewusst- ringt, als die schwächer erregte (natürlich, insofern die Erregung ein gewisses Maximum überschreitet).

)ass die Helligkeit des Gesichtsraumes unser Auge lebhaft beeinflusst, vielen Erscheinungen wahrzunehmen. In den Zimmern unserer ıngen ist es hell genug, um deutlich zu sehen, aber weniger hell, serhalb derselben. Obgleich man nun beim Aufenthalte innerhalb mmers die darin enthaltenen Gegenstände sehr deutlich wahrnimmt; man doch beim Aufenthalte ausserhalb des Zimmers, selbst von er Entfernung aus, meistens nicht im Stande, in das Zimmer n zu sehen. Jedoch bei Abend, wenn das Zimmer durch gewöhnliche erleuchtet ist, kann man von aussen hineinsehen, obgleich die Er-

leuchtung durch Kerzen oftmals bei weitem schwächer ist, als durch da Tageslicht.

Eine Wachskerze erscheint uns bei *Tage* fast gar nicht hell, be *Abend* aber sehr leuchtend, obgleich sie doch jetzt wegen des fehlende reflektirten Sonnenlichtes effektiv weniger Leuchtkraft besitzt, als bei Tag Umgekehrt wird manches Objekt um uns, welches wir in der Dunkelhe des Abends ganz gut sehen und für mässig hell halten, bei Tage unsich bar und schwarz, obgleich dasselbe doch stärker erleuchtet ist.

Die Sterne und die Feuer im Freien, welche in dunkler Nacht sel glänzend erscheinen, sehen wir bei Tage gar nicht.

Ein im Hintergrunde, im Schatten, in einer Vertiefung stehende Gegenstand, welcher bei Tage unsichtbar ist, wird in der Dämmerun sichtbar.

Ein sehr dunkler Gegenstand, welcher im mässig *dunklen* Raum *sichtbar* wird, erscheint unter diesen Verhältnissen auch wirklich he*ller*, als im *hellen* Raum, wo er *unsichtbar* und zugleich *dunkle* wird. Unter einem dunklen Gegenstande in dieser Bedeutung verstehe wir aber einen solchen, welcher zwar weniger stark erleuchtet ist, als de zuletzt erwähnte helle Raum, jedoch stärker erleuchtet, als der zuerst e wähnte dunkle Raum, also einen Gegenstand, welcher *absolut* dunke im Vergleich zu dem dunklen Raume aber gleichwohl hell ist.

Ein absolut *heller*, d. h. ein Gegenstand, welcher etwa ebenso star oder stärker erleuchtet ist, als der letztere helle Raum, wird ebenfalls er im *dunklen* oder vielmehr *angemessen hellen* Raume *sichtba* und ist im *sehr hellen unsichtbar*, wie der eben betrachtete absolu dunkle Körper. Auch erscheint dieser Gegenstand im dunklen Raum *heller*, als im hellen Raume. So ist die helle Mondscheibe und eine Ke zenflamme bei Tage matt, bei Nacht dagegen glänzend und strahlend.

Jenachdem sich das Auge im hellen oder im dunklen Raum befinde sieht dasselbe also einen Gegenstand von derselben Helligkeit mit ve schiedener *Deutlichkeit* und scheinbaren *Helligkeit*. Die letzte beiden Eigenschaften hängen demnach von der allgemeinen *Helligkei des Gesichtsraumes* mit ab. Dieses Abhängigkeitsgesetz liegt i Folgendem.

Was zunächst die *Deutlichkeit* betrifft; so wird dieselbe für al Objekte von konstanter Helligkeit, sowohl für die absolut hellen, wie fü die absolut dunklen umso grösser, je *dunkler der Raum* ist. Bei Blicke durch das Fernrohr, beim Nivelliren und allen scharfen Beobach tungen schliessen wir alles Nebenlicht möglichst vollständig vom Auge a suchen das Auge in die Verhältnisse eines dunklen Raumes zu versetzen

Hinsichtlich der *scheinbaren Helligkeit*; so steigert sich auc diese mit der Verdunklung des Raumes. Mir däucht aber, diese Steig rung ist für die absolut hellen Objekte grösser, als für die absolut dunk len; mit der Verdunklung des Raumes heben sich also auch die *Hellig keitskontraste* zwischen den Objekten.

2. **Günstigste Erleuchtung.** Selbstverständlich handelt es sich i Vorstehenden immer nur um Objekte von *konstanter Helligkeit*, nich aber um solche, welche ihre Helligkeit erst der Helligkeit des Gesichts

ıes oder der Bestrahlung durch dasselbe Licht, welches auch das Auge ıchtet, verdanken. Nun ist in den bei weitem meisten Fällen das t, welches den Gesichtsraum erleuchtet, auch die Quelle des von den kten ausgehenden Lichtes. Die Veränderungen des Lichtes, welches dem Gesichtsraume zugleich die Objekte erleuchtet, haben aber einen vorstehenden direkt entgegengesetzten Erfolg. Denn eine Verdunk- ; des Raumes vermindert unter solchen Verhältnissen die Hel- .eit und die Dunkelheit aller Objekte, und zwar für die helleren kte in stärkerem Grade als für die dunkleren; sie ermässigt also die lligkeitskontraste zwischen den Objekten.

In der Landschaft, wo es keine selbstleuchtenden Körper giebt, ern Alles von der Sonne sein Licht empfängt, ist in Beziehung auf elligkeitskontraste das letztere Verhältniss meistens vorherrschend. Dämmerung mildert diese Kontraste, der helle Sonnenschein steigert edoch nur bis zu einem gewissen Grade; denn im blendenden Sonnen- ; nehmen dieselben wieder ab.

In Beziehung auf Deutlichkeit und scheinbare Helligkeit haben es also unter den gewöhnlichen Lebensverhältnissen, d. h. beim athalte in der Natur, mit zwei entgegengesetzt wirkenden Ursachen ıun, und hieraus folgt, dass es einen gewissen Grad von Helligkeit Gesichtsraumes geben muss, welcher die günstigste Wirkung für Auge hervorbringt. Meines Erachtens ist dieser Grad für ein nor- ;s Auge derjenige, welcher durch das indirekte oder reflektirte ıenlicht bei heiterem Himmel hervorgebracht wird. Die Leucht- der Sonne ist zwar in den verschiedenen Klimaten verschieden; o verschieden und dem Klima angemessen wird aber auch die titution des Auges der akklimatisirten Bewohner sein.

3. Erklärung der Veränderung der scheinbaren Helligkeit.

Erklärung aller vorstehenden Erscheinungen liegt in der Deduktion . 68 No. 7. Wir haben dort gezeigt, dass wenn das Licht, welches etzhaut bestrahlt, weiss ist, die Objekte umso dunkler erscheinen ärker das bestrahlende Licht ist, oder umso heller, je schwächer ; Licht ist. Dass aber mit dem Wachsthum der scheinbaren Hellig- ıuch eine Zunahme der Schärfe des Sehens oder der Deutlichkeit Objekte verbunden ist, leuchtet ein.

Hierbei ist selbstverständlich vorausgesetzt, dass indem sich das Licht, ıes das Auge erleuchtet, ändert, die Intensität der betrachteten kte unverändert bleibt. Diess findet z.B. statt, wenn man die Ob- im Innern eines Zimmers einmal aus dem Zimmer selbst und einmal lem helleren Raume von aussen betrachtet. Dasselbe findet auch wenn man eine Kerzenflamme einmal bei Abend und einmal bei betrachtet: denn wennauch das Tageslicht der Kerzenflamme etwas Intensität verleiht; so ist diese Zunahme der Lichtstärke der Kerzen- ıe durch das Tageslicht doch ganz unbedeutend gegen die Zunahme urch dieses Licht bewirkten Bestrahlung des Auges.

Änderte sich aber wesentlich mit der Stärke des bestrahlenden Lich- ıch die Intensität des Objektes; so würde dieser Veränderung an- ssen Rechnung getragen werden müssen. Wenn ein Objekt seine

Intensität lediglich dem Lichte verdankt, welches das Auge bestrahlt; wird mit zunehmender Stärke der Bestrahlung auch die Intensität die Objektes zunehmen, und es wird alsdann mit der Intensität des bestrahl den Lichtes die scheinbare Helligkeit des Objektes so lange wachse bis das bestrahlende Licht einen so hohen Grad erreicht, dass dadurch Netzhaut überreizt wird. Der letztere Fall tritt ein, wenn wir uns freier Natur befinden und darin nur solche Objekte betrachten, wel keine Selbstleuchter (also z. B. keine Feuer) sind und zu welch das Tageslicht freien Zutritt hat (welche also nicht in vertieften Hö len liegen), deren Intensität also mit dem Tageslichte ziemlich gleic mässig variirt.

4. Einwirkung besonderer Umstände auf die günstigste E leuchtung. Die angemessene Helligkeit des Gesichtsraumes ka übrigens nicht für eine unter allen Umständen konstante Grösse erkl werden. Dieselbe variirt mit gewissen Umständen, welche ihrerseits Auge beeinflussen und dessen Disposition mitbedingen.

Namentlich hat die mittlere oder Gesammtfarbe des Gesichtsr mes einen Einfluss auf die günstigste Helligkeit. Herrscht z. B. die weis rothe oder gelbe Farbe vor; so muss die Erleuchtung schwächer sein, wenn die grüne, blaue, violette oder schwarze Farbe vorherrscht.

Soll das Auge mit Anstrengung, also in der Nähe oder was Da selbe ist, mittelst Fernröhre oder auf stark erleuchtete, blendende Objek gebraucht werden; so muss der Gesichtsraum dunkler gehalten werde als bei dem gemächlichen Gebrauche in der freien Natur. Man beobacht im verdeckten Raume des Zimmers oder mit geschütztem Auge, nicht i Sonnenscheine. In gleicher Weise jedoch, wie eine Zuführung von viel Licht, z. B. beim Schreiben und Lesen auf Papier, welches von d Sonne beschienen wird, dem Auge wegen der zu grossen Helligkeit u angenehm und schädlich ist, ebenso ist die Zuführung von zu wen Licht, wenn der Lichtmangel durch vermehrte Anstrengung erset werden muss, wie z. B. beim Schreiben und Lesen in der Dämmerun empfindlich und nachtheilig.

Auch andere Umstände, das allgemeine Wohlbefinden, die Gewohnhe die Dauer eines gewissen Zustandes u. s. w. bedingen die moment günstigste Helligkeit. So kann man nach langem Aufenthalte in d Dunkelheit und beim plötzlichen Erwachen aus dem Schlafe in dunkl Kammer keine helle Erleuchtung vertragen und nach langem Aufenthal im Hellen, z. B. beim Auslöschen heller Lichter am Abend oder bei Heraustritte aus hellem Sonnenscheine ist plötzliche Finsterniss una genehm und beeinträchtigt die Sehkraft.

5. Abnorme Reizbarkeit des Auges als Gesichtsfehler. E normal gebautes und in gutem Stande befindliches Auge ist nach Vo stehendem dasjenige, welches sich in der natürlichen, dem Klima en sprechenden, von der Sonne bedingten Helligkeit wohl fühlt und dar bei gewöhnlicher Anstrengung deutlich sieht. Die scheinbare He ligkeit, welche die Objekte alsdann zeigen, ist die normale oder natü liche. Ein Auge von dieser Beschaffenheit ist zwar fähig, sich auch a

n Beleuchtungsgraden anzupassen: die Beurtheilung der Helligkeit einzelnen Objekte ist jedoch nur in dem ersteren Falle die richtige die Anstrengung zum deutlichen Sehen alsdann die geringste.

Es liegt auf der Hand, dass diese Normalität nicht bei jedem Auge troffen wird. Bei erheblicher Abweichung entsteht daraus ein Getsfehler, welcher permanent und temporär sein kann. Häufig ernt dieser Fehler als zu grosse Reizbarkeit des Auges. Die geliche Helligkeit ist für das fehlerhafte Auge zu gross; dasselbe fühlt geblendet und sucht dunklere Räume auf oder schützt sich durch me oder durch absorbirende, blaue Brillen vor dem Übermaasse von .

Andererseits wird auch die Abnormität vorkommen, dass das gewöhn- Tageslicht zu schwach ist, um ohne grosse Anstrengung deutlich hen. Ein Auge dieser Art wird namentlich in schwach erleuchteten en, in der Dämmerung und bei Lampenlicht schlecht oder nur mit wöhnlicher Anstrengung sehen. Dieser Fehler erfordert eine mög- grosse Zuführung von Licht; der damit Behaftete wird also bei sich mehr dem direkten Sonnenlichte zuwenden und am Abend lie- ei offenem Kerzenlichte oder bei freier Astrallampe arbeiten, während orhin erwähnte zu reizbare Auge die mit dunklem Schirme gedeckte e vorzieht.

3. **Künstliche Hülfsmittel.** Als natürliches Hülfsmittel gegen orstehend erwähnten Augenfehler bietet sich, wenn dieser Fehler in osser Reizbarkeit besteht, die getrübte Brille dar, d. h. eine , welche das eindringende Licht schwächt. Der entgegengesetzte r zu geringer Reizbarkeit würde sich aber auf diese Weise behandeln lassen, da es keinen Körper giebt, welcher die hindurch- nden Lichtstrahlen verstärkte, ohne ihre Richtung abzu- en.

Wir haben aber schon im Eingange dieses Paragraphen darauf auf- am gemacht, dass nach §. 68 die Bestrahlung des Auges durch ges Licht ebenfalls Veränderungen der Intensität der Objekte her- ngt. Lässt man sich also die hiermit verbundene Farbenver- rung gefallen; so eignen sich auch farbige Brillen zur Bekäm- des Fehlers zu grosser und zu geringer Reizbarkeit des Auges.

nsbesondere würde eine rothe Brille für ein zu wenig reizbares anwendbar sein. Denn der Blick durch ein solches Glas lässt nach No. 3 die weissen Objekte, insbesondere die rothen und gelben zender oder feuriger erscheinen, und wenngleich Diess bei den erleuchteten grünen und blauen Objekten nicht so sehr der Fall tritt es doch bei den vom Tageslichte bestrahlten vermöge des re- en gelblichen Sonnenlichtes ebenfalls ein. Demgemäss wird das Landschaftsbild im rothen Glase lebhafter. Ebenso, jedoch weni- ark wirkt ein orangenes und gelbes Glas.

as grüne, blaue und violette Glas bringt die umgekehrte ng hervor: dasselbe dämpft die Helligkeit. Im höchsten Grade s das blaue. Die verdunkelnde Wirkung der blauen Farbe ist

namentlich in blau ausgeschlagenen Zimmern bei Lampenschein sehr merkbar.

Hiernach müssen sich blaue Brillen, blaue Fenstervorhänge und bl Schirme für die zu reizbaren und rothe Brillen, rothe Fenstervorhä und rothe Schirme für die zu wenig reizbaren Augen eignen.

§. 71.

Glanz.

1. Glanz und Charakter der Farben. — Form der Schw gungskurve. In §. 44 No. 4 haben wir den Glanz betrachtet, welc die Gegenstände durch das von ihnen reflektirte Licht annehmen. sehe mich genöthigt, auf diesen Gegenstand nochmals zurückzukomm weil der Begriff von Glanz einer Erweiterung fähig ist und weil aus dem jetzt, wo wir den physiologischen Nervenprozess näher kennen lernt haben, die spezielle Eigenschaft dieses Prozesses nachgewiesen den muss, welche die materielle Grundlage für den Sinneseindruck Glanzes bildet.

Nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche nennt man allerdings jenigen Gegenstände glänzend, welche neben dem von ihnen diffun ten Lichte viel reflektirtes Licht aussenden. Dieser Reflexionsgl zeigt sich jedoch bei schärferer Auffassung nur als eine spezielle Art allgemeineren Eigenschaft, welche das Aussehen der Gegenstände darbi Diese Eigenschaft ist von der Farbe und von der Intensität des Lic ganz unabhängig; sie verleiht dem Lichte einen gewissen Charak welchen wir jetzt den Glanz des Objektes in allgemeinerer Bedeut nennen wollen.

So besitzen z. B. die Metalle, gleichviel ob sie weiss, gelb, r blau sind, und gleichviel ob sie stark oder schwach leuchten, einen ge sen gleichartigen Glanz, und einunddieselbe Farbe nimmt, jenach sie von verschiedenen Stoffen, z. B. von Metallen, von Krystallen, Holzfasern, von Papier, von Geweben, von Flüssigkeiten, von Gasen u. s ausgestrahlt wird, einen anderen Glanz an.

Der Glanz der Farben ist die dem Klange der Töne genau rallel laufende Eigenschaft und Beide beruhen auf derselben Eigenth lichkeit des Vibrationsprozesses. Es leuchtet ein, dass ebenso wie bei Schallvibrationen des Ponderabelen, so auch bei den Lichtvibrationen Äthers die Bewegung des schwingenden Theilchens innerh jeder einzelnen Schwingung, selbst wenn diese Schwingung eine g bestimmte Dauer und eine ganz bestimmte Amplitude hat, doch n hinsichtlich ihrer Form eine grosse Mannichfaltigkeit oder Modulat darbieten kann und dass sich diese Mannichfaltigkeit der Form Schwingungskurve auch auf die chemische Oszillation übertra wird, auf welcher nach §. 65 der optische Nervenprozess, also der phy logische Eindruck beruht. So stellt z. B. Fig. 509 drei Licht- oder Sch bewegungen dar, welche in Beziehung auf Vibrationsgeschwindig (Farbe oder Tonhöhe) und Amplitude (Intensität) ganz gleich, in Be

ıg auf Kurvenform oder Modulation, also hinsichtlich des Glanzes oder des Klanges sehr verschieden sind.

Fig. 509.



Wie man nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche vornehmlich diejenigen optischen Gegenstände glänzend nennt, welche stark reflektiren, so nennt man auch diejenigen akustischen Gegenstände vorzugsweise klingend, welche stark resoniren. Hierunter ist jedoch immer nur eine besondere Art von Glanz oder Klang und insbesondere diejenige Art zu denken, bei welcher einzelnen Schwingungen möglichst gleichförmig verlaufen, wie in ersten durch Fig. 509 dargestellten Bewegung. Im Allgemeinen ist anz und Klang eine Eigenschaft von sehr mannichfaltigem Ausdrucke, cher den Farben und Tönen einen verschiedenen Charakter verleiht. Sprache hat für diese Eigenthümlichkeit nicht viel Worte gebildet. uptsächlich berücksichtigt man den eigentlichen Reflexionsglanz und erscheidet die verschiedenen Grade dieser besonderen Art von Glanz rch Ausdrücke wie schwach glänzend oder matt, stark glänzend er glänzend schlechthin. Übrigens erkennt man leicht; dass es ausser sen verschiedenen Graden derselben Art von Glanz noch unendlich l verschiedene Arten von Glanz giebt: denn wie schwach oder wie stark B. ein Stück Metall glänzen möge, immer behält sein Glanz etwas genthümliches vor dem Glanze eines Stückes Holz, welchem durch Pour ebenfalls ein sehr verschiedener Grad von Reflexionsglanz gegeben rden kann, ohne den eigentlichen Charakter seines Glanzes zu beeinchtigen.

2. Ursache des Glanzes. Dieser im Glanze sich aussprechende arakter der Farben entspringt aus der Form der Schwingungsrve. Diese Form kann durch verschiedene Ursachen beeinflusst werden. e Ursache des eigentlichen Glanzes liegt aber in der besonderen ziehung, in welcher der Äther zu dem Ponderabelen in jedem ome des leuchtenden Objektes steht. Dieser wahre oder eigentliche anz kömmt daher einem einzelnen Atome ebenso gut zu wie einer zu em grösseren Körper vereinigten Menge von Atomen und ist von der sammenfügung der einzelnen Atome, also auch von der Oberflächenschaffenheit des leuchtenden Körpers ganz unabhängig.

Wir haben im Laufe dieser Schrift schon mehrmals bei Betrachtungen er die Konstitution der Materie hervorgehoben, dass die stoffliche rschiedenheit oder Affinität der chemischen Elemente lediglich durch s Quantitätsverhältniss bedingt ist, in welchem die zu einem Atome rbundenen Mengen von Äther und Ponderabelem bestehen. Im Wesenthen, wennauch nicht ganz ausschliesslich, ist durch dieses Verhältniss, lches den Stoff bedingt, auch die Ätherelastizität der Atome und mzufolge die natürliche Farbe bestimmt, sodass für gewöhnlich oder ter normalen Verhältnissen Affinität und Farbe Hand in Hand gehen er die chemisch verschiedenen Körper verschiedene Farben haben.

Ausser jenem Quantitätsverhältnisse zwischen dem Äther und dem nderabelen kömmt aber noch die Anordnung oder sonstige Bezie-

hung Beider zueinander in Betracht, worauf der Aggregatzustand, die Krystallform und manches Andere beruht. Diese Anordnung bedingt vornehmlich, wennauch nicht ausschliesslich, die Form der Schwingungskurve für die vibrirenden Äthertheilchen, also den Glanz der Objekte. Jene Anordnung ist aber eine direkte Wirkung der zwischen Äther und Ponderabelem bestehenden Neigung oder des Kosmetismus (§. 2 No. und §. 73 No. 1), nicht ein Resultat der erst durch die Verbindung Beider entstehenden Affinität. Demzufolge beruht der Glanz vornehmlich auf Kosmetismus.

Hiernach haben gewisse Gruppen von chemisch ganz verschiedenen Körpern, wie z. B. die Metalle, die Erden, die Pflanzenstoffe, die animalischen Stoffe, die starren Körper, die Flüssigkeiten, die Gase einen gewissen verwandten Glanz bei sehr verschiedenen Farben.

Dass übrigens die Form der Schwingungskurve, also der Glanz namentlich bei zusammengesetzten Stoffen, in gewissem Grade auch von der Affinität, und dass die Vibrationsgeschwindigkeit also die Farbe in gewissem Grade auch von dem Kosmetismus beeinflusst werden, ist selbstverständlich. Demzufolge wird bei der Temperaturveränderung eines Körpers zuweilen nur die Farbe, zuweilen nur der Glanz, zuweilen Beides mehr oder weniger geändert. Ausserdem ist klar, dass Körper von verschiedenem Stoffe dieselbe oder doch eine ähnliche Farbe und dass Körper von verschiedenem Kosmetismus denselben oder doch einen ähnlichen Glanz haben können, weil ja dieselbe Vibrationsgeschwindigkeit und dieselbe Schwingungskurve durch verschiedene Bedingungen erzeugt werden kann.

Das Vorstehende betrifft die objektive Ursache des eigentlichen Glanzes oder des Charakters der Farbe, welcher jedem Atome des leuchtenden Körpers zukömmt. Nun ist zu erwägen, dass ein chemisches Atom wegen seiner Kleinheit ganz unsichtbar ist, dass also immer mehrere Atome zusammenwirken und ihre Strahlen zu einem für die Reizbarkeit des Sehnerven elementaren Strahlenbündel verschmelzen müssen, um einen sichtbaren Körper zu bilden. Hierbei kann und wird es sich in der Regel ereignen, dass das eine Atom nicht mit derselben Phase, auch nicht mit derselben Intensität in der Richtung dieses elementaren Bündels wirkt, dass also aus dieser Zusammenwirkung mehrerer Atome eine Schwingungskurve resultirt, deren Form von jener Zusammenwirkung mehr oder weniger abhängt, während ihre Vibrationsgeschwindigkeit oder Wellenlänge davon völlig unabhängig bleibt.

Namentlich wird diese Zusammenwirkung der benachbarten Atome durch die Beschaffenheit der Oberfläche des leuchtendenden Körpers beeinflusst werden. Durch Politur dieser Fläche werden alle jenen Atome in äusserlich gleiche Verhältnisse oder Phasen gebracht, ihre Schwingungskurven fallen möglichst gut ineinander und erhöhen denjenigen Effekt, welchen man im gewöhnlichen Leben Glanz nennt und welchen wir vorhin Reflexionsglanz genannt haben. Die Mechanik lehrt, dass mehrere übereinander verschobene gleiche Schwingungskurven eine resultirende Kurve erzeugen, welche dieselbe spezifische Form der Grundkurve beibehält. Hieraus folgt, dass die Farbe eines Körpers durch Politur ihren wahren Charakter nicht verändert. Durch Rauh-

hung der Oberfläche werden die einzelnen gleichen Schwingungsen übereinander verschoben und die daraus resultirende Kurve, welche Grundcharakter jeder einzelnen Kurve beibehält, wird sich besonders h Vernichtung einer grösseren Anzahl einfacher Strahlen, welche ine halbe Wellenlänge verschoben sind, auszeichnen, sodass alle Körvon rauhen Oberflächen aus der Nähe matt und schwach leuchtend heinen (aus der Ferne können dieselben durch Vereinigung gleicher twirkungen nach §. 44 No. 4 wieder als stark leuchtend erscheinen).

Allgemein heben wir hervor, dass durch Vereinigung einfacher, n homogenen elastischen Medium entsprechender Schwingungskurven Kurven erzeugt werden können, welche einen gewissen Grundcharakaben, dass also beliebige Formen der Schwingungskurve nicht h Vereinigung einfacher Kurven zu erzeugen sind. Hieraus folgt, der Glanz oder der Charakter des Lichtes nicht auf Mischung Verschiebung einfacher Lichtstrahlen, überhaupt nicht auf den Kräfwelche die Farbe bedingen, sondern auf besonderen und ganz selbstligen Beziehungen (nämlich dem Kosmetismus) beruht.

§. 72.

Ausdruck des Auges.

1. **Harmonische Ausbildung des Körpers.** Da alle Theile des ers durch das Gehirn als Zentralorgan vermittelst des Nervenems in einer planmässigen Verbindung und Wechselwirkung n; so muss jeder Prozess, welcher in irgend einem Körpertheile itt, in allen übrigen Organen eine besondere Thätigkeit eren und ebenso muss jede konstitutionelle Eigenthümlich-, welche irgend einem Körpertheile von Haus aus zukömmt oder ne ihm im Laufe der Zeit durch eine gewisse Lebensweise aufgedrückt allen übrigen Organen ein besonderes Gepräge verleihen. ganze Körper muss als ein Organismus erscheinen, dessen einzelne e sowohl in ihren wesentlichen Beschaffenheiten, als auch in Thätigkeiten das Prinzip der Einheit, der Gleichartigkeit, der ngigkeit bekunden.

So werden an dem Menschen die Gestalt seines Gesammtkörpers, die nen der einzelnen Organe, des Kopfes, des Schädels, des Gesichtes, der le und Füsse, ebenso die Beschaffenheit und Tüchtigkeit seines Gehirns, s Blutes, seiner Lunge, seiner Muskeln, seiner Sinneswerkzeuge, eine sse Verwandtschaftlichkeit zeigen, und dieselbe spezifische Eigenthümeit wird sich in seinen gewohnheitsmässigen Handlungen, seiner Hal-, seinem Gange, seiner Sprache, seinen Neigungen zu erkennen geben.

Durch das spezielle Verhältniss, in welchem die einzelnen Theile Gesammtorganismus zueinander stehen, unterscheiden sich die einen Menschen voneinander. Das organische Gesetz, nach nem die einzelnen Theile dieses Organismus aufeinander wirken, ist sämmtlich gemein. Da nun das Resultat ebensosehr von jenem iellen Verhältnisse oder von den Anlagen des Einzelnen, wie

von diesem allgemeinen Gesetze abhängt; so ist klar, dass dieses setz nicht allenthalben in gleichem Quantitätsgrade zur Erschein kommen kann, dass aber das natürliche Bestreben, dieses Gesetz vollkommensten Geltung zu bringen, also eine vollständige Harmo zwischen allen Theilen des Organismus in Beziehung auf Form, Kr Fähigkeit und sonstige Eigenschaften herzustellen, stets obwaltet, d also jenes Gesetz, auch wenn es sich quantitativ nicht immer gleich u gehörig entwickelt, doch qualitativ in den meisten Fällen sich deutlic bekundet.

2. **Harmonische Thätigkeit des Körpers.** Namentlich wird Art und Weise, wie die Thätigkeit eines Organs induktorisch mom tane Thätigkeiten in allen übrigen Organen erregt, sich bei al Menschen in grösserer Übereinstimmung zeigen, als die oben erwäh konstitutionelle Harmonie aller Organe unter sich, weil die letzt Harmonie erst das Resultat ist, welches von jenem allgemeinen Gesetze Abhängigkeit der organischen Thätigkeiten unter dem Einflusse der k stitutionellen Grundanlagen bei dauernder Wirkung hervorgebracht wi

Sicherer, d. h. im Allgemeinen deutlicher ausgeprägt, als die Sä der Phrenologie und der Physiognomik, welche sich auf die Gleichheit konstitutionellen Ausbildung der Organe bei verschiedenen Indi duen unter der Wirkung gleicher Einflüsse beziehen, sind daher die E fahrungen über die Gleichmässigkeit der Thätigkeiten, welche in d Organen der einzelnen Individuen durch dieselben Einwirkungen auf b stimmte Organe erweckt werden.

So begleitet fast Jeder seine Gedanken und Empfindungen mit g wissen Geberden, Gesten und sonstigen Bewegungen oder fühlt doch ei Versuchung zu solchen Bewegungen, welche er nur kraft seines Wille unterdrückt; dieselben Gedanken und Vorstellungen rufen bei verschie nen Menschen ähnliche Empfindungen hervor; dieselben geistigen Thäti keiten haben dieselben körperlichen Wirkungen, welche bald in mecha schen Bewegungen, bald in chemischen Thätigkeiten, bald in körperlich Empfindungen und dergleichen bestehen; dasselbe Leiden zieht a Organe in einen bestimmten und für alle Menschen nahezu gleichen Z stand der Mitleidenschaft.

3. **Störung des normalen Vorganges.** Wie schon hervorgehobe wird das Gesetz der Abhängigkeit der einzelnen Organe durch die spe fischen Grundverhältnisse des Organismus, welche entweder in ang borenen oder erworbenen Grundanlagen oder in zeitweisen Abnorm täten (Krankheiten u. s. w.) bestehen, mehr oder weniger getrübt, soda es nicht bei allen Individuen mit gleicher Bestimmtheit auftritt. Ausse dem ist der Impuls, welcher den Organismus in Thätigkeit verset höchst selten einfach; meistens konkurriren viele Impulse, also auch vie Thätigkeiten miteinander, namentlich geht jeder zufällige Impuls imm mit den vitalen, von dem augenblicklichen Gesammtbefinden des Org nismus abhängigen Prozessen zusammen: die Wirkung eines bestim ten Organs auf ein anderes bestimmtes Organ, ist also immer eine w gen der Komplizirtheit der Ursachen selbst sehr komplizirte, welch

ı man bei ihrer Beurtheilung nur den einzelnen zufälligen Impuls ıd eines besonderen Organs in Rechnung bringt, mancherlei Abweichun- von der Regel zu unterliegen scheinen kann.

4. **Beziehung zwischen der Gehirnthätigkeit und dem Aus- ke des Auges.** Betrachten wir jetzt vorzugsweise die direkten ungen der Gehirnthätigkeit auf die übrigen Organe des Körpers. bar werden solche Organe dem in Rede stehenden allgemeinen etze am besten folgen, auch die feinste Reaktion auf alle im rne entspringenden Thätigkeiten zeigen, welche mit dem Gehirne t in naher und vielseitiger Verbindung stehen. Kein Organ zt diese Eigenschaft in so hohem Grade, als das Auge. Dasselbe dem Gehirne ganz nahe, es erstreckt sich zu ihm ein starker Nerven- g, welcher sich in der Netzhaut als eine Verlängerung und Erweite- jenes Zentralorgans ausbreitet; durch zahlreiche Nerven der verschie- en Art, durch sensuelle, motorische, sensibele und Ernährungsnerven das Auge mit fast allen Theilen des Gehirns in direkter Verbindung, Organisation ist die feinste aller äusseren Organe und sie ist die ichfaltigste, erfordert also und bedingt die verschiedenartigsten Be- ungen zu dem Zentralapparate.

Demgemäss wird jeder Gedanke und jede Gemüthsbewegung von n bestimmten Ausdrucke des Auges begleitet sein und die Sym- k des Auges wird eine allgemeinere Gültigkeit haben, wie jede andere ik. Ebenso wird die spezifische Verschiedenheit der Gehirnkonstitu- dem Auge jedes einzelnen Individuums einen eigenthümlichen dauern- Ausdruck verleihen: das Auge wird sich als ein Spiegel der e bewähren, wiewohl aus den vorhin angegebenen Gründen die letz- ı Beziehungen, welche zu sehr von den spezifischen Grundanlagen des elnen beeinflusst werden, nicht denjenigen Grad von Allgemeinheit in ruch nehmen können, wie die ersteren Beziehungen, welche zwischen momentanen Seelenthätigkeiten und den begleitenden Af- ionen des Auges bestehen.

Der Ausdruck des Auges wird durch gar mannichfaltige Elemente agt. Die Konvergenz der Augenaxen, die Akkommodationsweite, die e der Pupille, die Bewegungen der Iris und des ganzen Augapfels, die eglichkeit dieser Theile, die Spannung der Hornhaut und der inneren le, der Glanz des Auges, die Farbe der Iris und der harten Haut, die ung des Auges gegen die Augenhöhle, das Verhalten der Augenlider, inendrüsen und Augenbrauen sind die hauptsächlichen Gegenstände der nderung. Die Veränderungen jedes einzelnen sind schon an sich höchst eitig; in Verbindung mit einander verleihen sie aber dem Auge die gkeit, den verschiedenartigsten Thätigkeiten und Stimmungen der Seele ı entsprechenden äusseren Ausdruck zu verleihen.

5. **Ausdruck des Auges in der Krankheit.** Die Einzelheiten Symbolik des Auges zu verfolgen, gehört nicht zur Aufgabe dieser ift. Nur in einer Beziehung fühle ich mich veranlasst, diesem Gegen- de eine besondere Aufmerksamkeit zu widmen, weil sich hieran für

das menschliche Leben wichtige Folgerungen knüpfen: die Beziehung trifft den Ausdruck des Auges in der Krankheit.

Es ist eine allgemein bekannte Thatsache, dass das Auge in je Krankheit einen besonderen, von der Art der Krankheit abhängig im Ganzen aber sehr entschiedenen Ausdruck annimmt. Dieser Ausdru welcher oft schon vor der Krankheit beginnt und sich während der ga zen Periode der Rekonvaleszenz erhält, ändert sich und wechselt mit d Stadien der Krankheit. Für viele Krankheiten ist er ein wichtiges Sy ptom. Die verschiedenen Zustände des Befindens, der Gesundheit, d Unwohlseins, der leichten und der schweren Krankheit, sie affiziren a das Auge in einer sehr bestimmten Weise.

6. **Gehirnthätigkeit bei der Krankheit.** Diese äusserst lebha Betheiligung des Auges kann ebenso, wie die Affektionen desselben, m welchen die Gedanken und Gefühle begleitet sind, nur von dem G hirne ausgehen. Es wäre eine widernatürliche Hypothese, anzunehme dass das Auge mit jedem Theile des Organismus in einer direkten Ve bindung stände, um sofort durch jeden Prozess, welcher in einem solch Theile vor sich geht, unmittelbar affizirt zu werden. Eine solche H pothese würde ausserdem dem Körperbaue geradezu widersprechen, da d Nerven des Auges keineswegs von diesem Organe nach allen übrig Theilen des Körpers, sondern nur nach dem Gehirn führen.

Hieraus folgt unwiderleglich, dass bei jeder Krankheit das Ge hirn in lebhaftem Grade und in bestimmter Weise thätig is Ist nun diese Thätigkeit eine sekundäre, induktorische, durch d Krankheit eines speziellen Körpertheiles vermöge der Nervenverbindun auf das Gehirn übertragene, oder ist sie eine primitive? Mit andere Worten, hat der Krankheitsprozess seinen Sitz in dem krank er scheinenden äusseren Organe oder im Gehirne?

Ich behaupte, nachdem ich länger über diesen Gegenstand nachge dacht habe, mit aller Bestimmtheit, was ich schon in dem Buche „Kör per und Geist" (§. 26) hervorgehoben habe: jede Krankheit wur zelt im Gehirne; sie wird hervorgerufen, geleitet und beendig durch das Gehirn. Die Veranlassung zur Krankheit liegt allerding in dem abnorm gewordenen äusseren Organe: allein Diess ist für das We sen der Krankheit ohne Bedeutung. In §. 74 werden wir auf diesen Gegenstand näher eingehen.

§. 73.

Die Gesetze der Körperbildung.

Um die Abhängigkeit des Ausdruckes im Auge von den verschie denen Körperzuständen deutlicher einsehen zu können, ist es nöthig die allgemeinen Prinzipien, unter welchen sich die Körperbildungen in der Natur vollziehen, einer näheren Prüfung zu unterwerfen. Diess erscheint mir umso unerlässlicher, als meine Ansichten über diese Prin zipien von den herrschenden erheblich abweichen und der Gegenstand

ı um seiner selbst und anderer wichtigen Anwendungen willen von m Interesse ist.

ı1. **Die Grundkräfte.** Alle Thätigkeit eines Körpers oder Geofes ist ein Gebrauch der ihm innewohnenden Kräfte unter Einflusse der Mitwelt oder eine Wechselwirkung zwischen rm Körper und der übrigen Welt. Die hieraus entspringenden Ernungen sind im höchsten Grade mannichfaltig und können demnach r sehr verschiedenen Gesichtspunkten klassifizirt und betrachtet werden. für uns wichtiger Gesichtspunkt ist die Betrachtung der Erscheinunwelche ein Körper hervorbringt, solange das ihm innewohnende Syı von Grundkräften dasselbe, der Körper also ein selbstständi-'Wesen von der durch jene Grundkräfte bestimmten Qualität t. Die Bethätigung dieser Kräfte, welche das eigentliche Wesen eines pers ausmachen, ist seine Lebensthätigkeit. Die Veränderunwelche ein Körper durch die Ausübung seiner Lebensthäeit erleidet, nenne ich Entwicklung,

Es giebt aber noch eine andere hochwichtge Veränderung der Dinge, ich die Veränderung der Grundkräfte selbst. Da die Materie ihre nschaften immer nur in der Wechselwirkung mit der ausser ihr bechen Materie bekunden kann; so folgt, dass sogenannte günstige hältnisse eintreten müssen, um die vielseitigen Kräfte der Materie, he in ihr schlummern, wach zu rufen, in Thätigkeit zu setzen, Erscheinung zu bringen. Die Veränderungen nun, wodurch in Materie die höheren Fähigkeiten oder Grundkräfte geweckt en, wollen wir die Entfaltung der Materie nennen und nachnd näher erläutern.

Offenbar haben Sauerstoff und Eisen die Fähigkeit, sich in bestimm-Verhältnissen und zu einem bestimmten Körper, dem Eisenoxyde oder e, zu verbinden, selbst wenn Beide gar nicht nebeneinander existiren. h die Zusammenführung dieser Stoffe wird also nicht ihre cheche Affinität erzeugt, sondern es wird derselben nur Gelegenheit ben, ihre spezifische Kraft zu bethätigen, in der chemischen Verbin- des Rostes eine Erscheinung hervorzubringen (vergl. No. 3).

Da es sich bei der Entfaltung um die Erregung der Grundkräfte, um eine Komplikation gegebener Kräfte handelt; so ist klar, dass h Entwicklung keine Entfaltung bedingt ist, weil wir unter Entlung die Veränderungen innerhalb der Grenzen einer gegebenen verstehen. Hiernach bedingt also z. B. die Bildung eines Krystalıicht die Entstehung einer Vegetatationskraft, weil die Letztere rem Grundwesen von ganz anderer Art ist als die Erstere.

Die Hauptstadien der Entfaltung der Materie, soweit sie der menschn Beobachtung zugänglich sind, bestehen in Folgendem. Als Ausspunkte oder auf der ersten Stufe der Entfaltung haben wir zwei offe: den reinen Äther und das reine, homogene, gleichartige Ponbele. Beide sind mit gewissen Grundkräften begabt und alle Ernungen der Welt sind das Resultat der Thätigkeit dieser Kräfte. chst besteht zwischen den gleichartigen Theilchen des Äthers, zwischen den gleichartigen Theilchen des Ponderabelen die Gra-

vitation (auch Attraktion oder Schwere genannt). Man hält zw den Äther für imponderabel, jedoch mit Unrecht. Die Täuschun entspringt aus der Geringfügigkeit des Effektes, welche die Gravitati des Äthers der Beobachtung entzieht. Bei der Wirkung in nächster Näh und in der allseitigen Umgebung von Molekülen gestaltet sich die Gr vitation zur Elastizität, und das Vorhandensein von Elastizität i Äther so gut wie im Ponderabelen beweis't auch die Existenz der Gra vitation in Ersterem.

Zwischen einem Theilchen des Äthers und einem Theilchen des Ponder belen herrscht der Kosmetismus, nämlich diejenige Kraft, welche die be den Urstoffe Äther und Ponderabeles zu chemischen Elementen verbin det. Der Kosmetismus äussert sich vermöge des in ihm liegenden Prinzips besonderer Weise, jenachdem das Quantitätsverhältniss des zusamme tretenden Äthers und Ponderabelen ein anderes ist, sodass die Ve schiedenheit der chemischen Elemente durch die Verschiedenheit jene Quantitätsverhältnisses bedingt ist. Mit der Bildung der chemische Elemente erwacht in der Materie die Affinität, welche jene Element zu Mineralien vereinigt. Affinität ist die besondere Neigung ode Verwandtschaft, welche ein Element zu den übrigen Elementen hat Die zweite Stufe der Entfaltung der Materie umfasst also das Mineral reich und die herrschende oder diese Stufe prinzipiell bedingende Kraf ist die Affinität.

Die dritte Stufe der Entfaltung der Materie ruft die Pflanzen hervo Wir lassen ganz dahin gestellt sein, welche Umstände die anorganisch Materie befähigen, ihre Vegetationskraft zu zeigen: nur so vie behaupten wir, dass diese Kraft nichts Anderes ist, als die natürlich Entfaltung der Grundkräfte der Materie, dass also auch bei de Aufnahme anorganischer Stoffe in den Pflanzenleib oder bei der Assimila tion keine Grundkraft durch ausserhalb der Natur stehend Gewalten wie durch ein Machtwort auf jene Stoffe übertra gen, denselben nur auf eine gewisse Zeit geliehen, sondern dass durch diesen Prozess eine vorhandene Grundkraft erweckt oder in Thä tigkeit gesetzt wird. Das Resultat dieser Thätigkeit ist die Zelle Die Pflanze erscheint als eine Zusammensetzung von Zellen, also als ein Aggregat von gleichartigen Bestandtheilen, welche sämmtlich dieselben Grundkräfte und an der Spitze von allen Vege tationskraft besitzen.

Hieraus wird erklärlich, dass die Zellen sich nicht wie anorganische oder Mineralstoffe verhalten, sondern eine grosse Zahl von Eigenthümlich keiten zeigen, unter Anderem, dass die darin vorkommenden chemischen Verbindungen sich durch eine besondere Komplizirtheit vor den anorganischen auszeichnen, dass die mechanischen Kräfte wie Attraktion, Kohäsion, Schwere u. s. w. im Vegetationsprozesse, namentlich in der Endos- und Exosmose, in der Zirkulation der Säfte, in der Struktur u. s. w. weit mannichfaltigere Erscheinungen hervorbringen als im Mineral reiche. In der Pflanze leben also neben der Vegetationskraft, welche die höhere Entfaltungsstufe charakterisirt, alle niedrigeren oder ein facheren Grundkräfte der Materie, wie Affinität, Kosmetismus, Gra vitation fort; allein sie zeigen sich sämmtlich in einem prinzip

igen Abhängigkeitsverhältnisse von der Vegetationskraft, mit anderen Worten, der im Pflanzenleibe thätigen Materie ist in Funktionen der Stempel und die Herrschaft der Vegetationskraft drückt.

Die vierte Stufe der Entfaltung der Materie ist diejenige, wo der t oder die geistige Kraft zur Erscheinung kömmt; ihr Produkt s Thier. Wir verzichten auch hier darauf, die unmittelbare Versung zur Entstehung des Thier- und Menschengeschlechtes, d. h. die eser Erscheinung günstigen äusseren Verhältnisse, zu ergrün- allein wir sehen es als eine unumstössliche Thatsache an, dass bei Assimilation anorganischer und vegetabilischer Stoffe im Thierleibe er Materie inhärirende geistige Kraft nur in Thätigkeit zt, nicht aber erst aus Nichts hervorgezaubert werde und fer- dass die animalischen Stoffe, solange sie wirklich animalische also integrirende Bestandtheile eines animalischen Individuums sind, ige Kraft zur Erscheinung bringen.

Um Missverständnissen zu begegnen, bemerke ich, dass ein Molekül, istige Kraft zu bethätigen, nicht etwa Bewusstsein, auch nicht and, auch nicht Gemüth zu besitzen braucht. Denn Bewusstsein ie schon in §. 9 No. 3 angeführt worden, die Resultante aller igen Kräfte eines animalischen Organismus, und Verstand und th sind gewisse Eigenschaften, welche dem aus dem Gesammt- ismus resultirenden Geiste eigen sind, welche aber nicht allen onirenden Bestandtheilen zukommen. Demnach ist es sogar glich, dass die animalische Zelle mit Bewusstsein und mit and begabt sei: allein dessenungeachtet steht ihre Thätigkeit unter gemeinen Herrschaft der Grundgesetze der geistigen Kraft.

Wie im Steine und wie in der Pflanze, so gehen der in einem anima- Organismus thätigen Materie keineswegs diejenigen Kräfte ver- welche sie schon auf den niedrigeren Stufen der Entfal- besitzt. Diese Materie bethätigt also Attraktion oder Gravi- n, welche schon dem reinen Äther und Ponderabelen zukömmt; Kosmetismus, welcher der Verbindung von Ponderabelem mit zukömmt, ebenso Affinität, welche sich zwischen den chemisch edenen Körpern äussert, und endlich Vegetation, welche der ichen Pflanze eigen ist. Allein alle diese einfacheren oder niedrige- äfte kombiniren sich jetzt mit der geistigen Kraft oder stehen leren Einflusse, bringen also unter der Mitwirkung dieser Kraft ch verschiedene Erscheinungen hervor als in der Pflanze und im ll.

on allen diesen Erscheinungen interessirt uns gegenwärtig vornehm- animalisch-organische Körperbildung. Nach Vorstehendem muss vas diese Körperbildung betrifft, sei es hinsichtlich der chemischen ischungen oder der Formen oder der Massen-, resp. Grössen- tensitätsverhältnisse, wesentlich von den analogen Vorgängen nzenorganismus verschieden sein, eben weil jetzt der Einfluss einer nämlich der geistigen Kraft mitwirkt. Demnach ist Vegetation imalisches Leben oder Vitalität ganz und gar verschieden: tztere schliesst die Erstere ein, jedoch so, dass sie

das Resultat der Zusammenwirkung von Vegetationskr
mit geistiger Kraft ist.

2. **Nähere Charakteristik der Grundkräfte.** Gravitati äussert sich sofort bei dem Vorhandensein eines einzigen Urstoff sei es Äther, sei es Ponderabeles. Gravitation ist das Grundgesetz, welc gleichartige Stoffe miteinander verbindet, also das Grundgesetz Gleichartigkeit, die Grundlage aller Quantitätsgesetze.

Damit Kosmetismus sich äussere, ist Nichts weiter erforderli als dass die beiden Urstoffe Äther und Ponderabeles zusamm treten. Das Resultat der Wirkung des Kosmetismus ist das chemisc Element, dessen kleinste Theile also aus Äther und Ponderabel bestehen. Der Kosmetismus ist das Grundgesetz der Ungleichartigke die Grundlage aller Qualitätsgesetze. Derselbe äussert sich in kleinsten Theilen eines chemischen Elementes und auch nur in kleinsten Theilen, d. h. er ist prinzipiell nicht abhängig von den Bezieh gen, in welchen die kleinsten Theile eines solchen Stoffes, welche ei grösseren Körper formiren, zueinander stehen; er ist derselbe, glei viel ob diese kleinsten Theilchen isolirt oder in Verbindung mit ande stehen.

Damit Affinität auftrete, müssen zwei Körper, also zwei nic absolut einfache, sondern aus den Urstoffen zusammengeset Stoffe, d. h. zwei chemische Elemente vorhanden sein. Da ein sammengesetzter chemischer Körper wiederum aus Elementen besteht; ist selbstverständlich, dass auch das Vorhandensein zweier und mehre chemischen Körper zur Äusserung der Affinität Veranlassung gie die prinzipielle Grundlage der Affinität ist aber die Wechselwirku zwischen zwei chemischen Elementen. Da die Zusammengesetzth der beiden Stoffe, welche die Affinität äussern sollen (nämlich die versch dene Zusammensetzung derselben aus Äther und Ponderabelem) die B dingung für das Auftreten der Affinität ist; so folgt daraus, dass sie dem Verhalten verschiedenartiger Körpertheile beruht.

Durch Kosmetismus (in Verbindung mit der Gravitation) ist bestimmte Richtung bedingt, in welche sich zwei Moleküle dessel chemischen Elementes nebeneinander lagern, also die Struktur o das Gefüge eines Aggregates von solchen Molekülen. Durch die Af nität ist ausserdem eine bestimmte Anordnung der verschiedenartig Theile eines Moleküls bedingt. Die eine wie die andere dieser bei Kräfte bewirkt also, dass die Mineralien bestimmte Formen, Krystallformen annehmen: übrigens muss sich nothwendig das We des Krystalls eines chemischen Elementes von dem Wesen des Kryst eines zusammengesetzten chemischen Körpers durch gewisse Besonderheit auszeichnen, weil Richtung der Moleküle und Anordnung ihr chemischen Elemente sich in verschiedener Weise äussern wi Ebenso muss die Vielfachheit der chemischen Verbindung sich Krystalle charakteristisch äussern, d. h. ein Oxydkrystall muss et Eigenthümliches vor einem Salzkrystalle voraus haben, was die Chem noch zu entdecken haben wird.

Vegetationskraft kömmt zur Erscheinung, wenn chemisc

rper von gewisser Verschiedenartigkeit in gewisser rdnung zusammenkommen oder eine Zelle bilden. Die Erschei- der Vegetation ist also das Resultat der Entstehung der le. Eine einzige Zelle genügt, um Vegetation zu äussern, um Pflanze zu bilden, d. h. die Vegetation ist nicht abhängig von Wechselwirkung zwischen Zellen, sondern nur von der hselwirkung der zu einer Zelle vereinigten Stoffe. Da- Vegetation entstehe, ist also nicht, wie bei der Affinität, das Vorhan- ein von verschiedenartigen Stoffen genügend, sondern es ist gleich- g die Anordnung derselben zu einer bestimmten Form nothwendig. tation ist daher durch Stoff und Form zugleich bedingt und hieraus , dass in der Wirkung der Vegetation das Formelle neben dem flichen mit besonderer Kraft hervortreten wird. In der That be- die Wirkung der Vegetation wesentlich darin, dass sie Formen er- , die eine Zelle gebiert die andere Zelle; ausserdem besitzt elle, und zwar nur die Zelle als solche, die Fähigkeit, in einem eralischen Bestandtheile durch Assimilation die Vege- onskraft zu erwecken. Wie schon erwähnt, ist das Vorhanden- der Vegetationskraft durch eine einzige Zelle, nicht durch die nmenwirkung mehrerer bedingt: die Pflanze ist nur eine Anhäu- mehrerer Zellen und das Resultat der von der einen die andere Zelle übertragenen Wirkung, nicht das Resultat aus der Gesammtpflanze entspringenden oder die Gesammt- ze als prinzipielle Ursache voraussetzenden einheitlichen Wirkung. der Entwicklung, dem Wachsthume der Pflanze, entwickelt sich die Zelle aus der anderen unter dem Einflusse der benachbarten Zellen der übrigen Aussenwelt; man kann daher auch sagen, eine Zelle ise auf den übrigen unter dem Einflusse der Aussen- . Da bei der Bildung der Pflanze die eine Zelle durch die benach- n Zellen und zugleich durch die Aussenwelt (Erde, Luft, Licht .) beeinflusst wird, und Beeinflussung einer Zelle sich nicht bloss in eränderung ihrer chemischen Bestandtheile, sondern auch ihrer en Eigenschaften ausspricht; so können die einzelnen Theile der Pflanze el, Stamm, Blätter, Blüthen, Früchte) natürlich nicht identisch n, wie beim Krystall, sondern müssen nothwendig eine gewisse ichfaltigkeit zeigen. Diese Mannichfaltigkeit ist bedingt durch die üsse, welche sich an den betreffenden Stellen geltend machen, sie t lediglich auf einer Beeinflussung der in allen Zellen wohnenden hen Vegetationskraft durch die Umgebung, nicht auf einer hiedenheit der Vegetationskraft der einzelnen Zellen t. Die verschiedene Zelle des Holzes und des Blattes ist nur eine hiedene Phase oder Erscheinung desselben Grundsystems, urch äussere Umstände bedingte Änderung der Thätigkeit desselben ystems. Mit dieser veränderten Thätigkeit ist offenbar eine Verän- in der Aneinanderreihung sowohl hinsichtlich der Form als tlich der Festigkeit verbunden: die einzelnen Aggregate von welche ihre Thätigkeit unter solchen verschiedenen äusseren Bedin- entwickeln, werden also eigenthümliche Gesammtformen an- n, d. h. sie werden Wurzeln, Stamm, Rinde, Blätter, Blüthen, Früchte,

Samen u. s. w. bilden. Diese Vegetation der Gesammtpflanze i das Analogon der Krystallform der Mineralien.

Die Grundfähigkeiten aller Zellen derselben Pflanze sin also gleich, die einzelnen Theile einer Pflanze sind nur Aggregate v Zellen, in dem Zugleichbestehen dieser Zellen oder in de Gesammtpflanze spricht sich durchaus kein Einheitsprinzi sondern nur das Prinzip der Formbildung nach gleichartigen G setzen unter dem verschiedenen Einflusse der Aussenwe und der Umgebung aus.

Demnach ist das vom Baume abgetrennte Reis so gut Pflanze w der ganze Baum und nimmt auch, wenn es in die Erde gesteckt wir bald die vollständige Form des in der Erde wurzelnden Baumes an. Den nach treibt der Baum nicht zu allen Zeiten, sondern nur auf Ve anlassung der äusseren Temperatur und nur an gewissen Stelle blüht und trägt Früchte, solange die zu diesem Prozesse erforde liche Temperatur erhalten und für den nöthigen Nachschub vo Assimilationsstoffen gesorgt wird. Die mit den Jahreszeiten zu sammenfallenden Perioden im Pflanzenleben sind nicht durch die Pflan zen, sondern lediglich durch die äusseren Verhältnisse beding und ändern sich mit diesen Verhältnissen. Demzufolge blüht im geeign eingerichteten Gewächshause die Pflanze ununterbrochen, dem zufolge blüht die tropische Pflanze in nordischen Gegenden gar nich und demzufolge ist die gedeihliche Existenz jeder Pflanzenart an ein b stimmtes Klima geknüpft.

Damit die geistige Kraft sich entfalte, ist ein bestimmtes Syste von Zellen, ein Organismus nöthig. Es ist etwas sehr Beachten werthes am Wesen der geistigen Kraft, dass sie von den Formbestand theilen, den Zellen, in welchen sie entfaltet wird, nicht unmittelba sondern durch die Gesammtthätigkeit aller zu dem Gesammtorga nismus gehörigen Zellen erweckt wird. Übrigens kömmt diese Eigenscha nicht der geistigen Kraft allein, sondern jeder Grundkraft zu, wen man nur beachtet, dass für die Vegetationskraft nicht die Pflanze, son dern die Zelle und für die Affinität nicht der Krystall, sondern da Atom der eigentliche Organismus ist. Denn alsdann ist klar, dass z. B die Vegetationskraft nicht durch die in der Zelle enthaltenen Minerali direkt, sondern durch deren Zusammenwirkung zu einem Zellenor ganismus erzeugt wird.

Die in einer animalischen Zelle sich offenbarende geistige Kraft is daher einerseits durch die Beschaffenheit dieser einzelnen Zelle andererseits durch die Beschaffenheit des ganzen Organismus beding Die geistige Thätigkeit der einzelnen Zelle ist geistige Kraf schlechthin, die geistige Thätigkeit des Gesammtorganismus is Das, was der gewöhnliche Sprachgebrauch Geist oder individuelle Geist oder Seele nennt.

Eine Zelle oder eine gewisse Mehrheit derselben kann hiernach nu geistige Kraft haben oder eine animalische Zelle sein, solang sie dem Gesammtorganismus angehört. Demzufolge entbehrt im Allgemeinen ein abgetrenntes Körperglied der geistigen Kraft. Da jedoc ein Organismus zu seiner Existenz nicht absoluter Vollkommenhei

rf, sondern auch bei einer gewissen Abweichung vom Normalen als selbstständiges Individuum (im Beharrungszstande, 9) bestehen kann; so kann auch ein verstümmelter Körper, ge die Verstümmlung gewisse, für jede Thierart verschiedene Gren- icht überschreitet, noch als selbstständiger Organismus bestehen sich ergänzen (durch Metamorphose, No. 8). Demzufolge st ein geringer abgeschnittener Körpertheil am menschlichen Körper r, und bei den niedrigen Thierklassen ergänzen sich selbst grosse ertheile, ja es sind sogar Theilungen des Gesammtorganismus möglich, e sich zu selbstständigen Individuen ausbilden.

Es leuchtet ein, dass die animalische Zelle, da sie als isolirtes entarorgan nichts Anderes, als vegetabilische Funktionen zu hten hat, mit der vegetabilischen Zelle eine grosse äussere d. h. skopische Ähnlichkeit haben wird, dass aber dessenungeachtet ihre gkeit eine wesentlich andere, nämlich eine von geistiger Kraft rrschte Vegetation ist, welche wir Vitalität genannt haben.

3. **Hauptsystem und Grundsystem.** Ich muss einen grossen n darauf legen, mich über das Wesen der fünf Grundkräfte itation, Kosmetismus, Affinität, Vegetation und Geist ge- klar zu machen und namentlich die volle Überzeugung davon zu ken, dass die Thätigkeiten der vorstehenden fünf Grundkräfte auf hen Fundamentalprinzipien beruhen. Der Nachweis dieser heit des Grundprinzipes aller Naturthätigkeiten ist desshalb so wichtig, erselbe allein erst das Recht verleiht, die Erscheinungen in den drei n Naturreichen als gesetzlich verwandte oder analoge Thä- ten zu betrachten, also auch allgemeine Schlüsse, welche aus dem alreiche gezogen sind, auf das Pflanzenreich, und welche aus dem enreich gezogen sind, auf das Thierreich zu übertragen. Ich bitte ich den Leser, der nachstehenden Betrachtung eine geneigte Auf- samkeit zu schenken. Diese Betrachtung ist der Beziehung zwischen Ganzen und seinen Theilen, sowie dem Grundwesen einer Kraft mmet und soll das in dieser Hinsicht Gleiche für die verschiedenen erscheinungen darthun.

Die Beziehung zwischen einem Ganzen und seinen Theilen hat ganz verschiedene Bedeutungen. Gewöhnlich fasst man nur das Ver- ss ins Auge, welches aus dem Begriffe der Vielheit und Anordnung ingt. Man hat es dann nur mit einem Quantum gleichartiger e zu thun. Das Wesentliche in diesem Verhältnisse besteht darin, lle Theile gleichartig sind, dass also jeder Theil die nämlichen deigenschaften hat, wie das Ganze, dass also, wenn es sich um gründung dieser Grundeigenschaften oder der Art des Ganzen t, jeder Theil wie ein selbstständiges Ganze erscheint. So t z. B. ein Krystall aus krystallinischen Massentheilchen und eine e aus Zellen. Jene Massentheilchen und diese Zellen haben die näm- Grundeigenschaften wie die daraus zusammengesetzten Körper, sind lbst Ganze.

Eine hiervon ganz verschiedene Bedeutung nimmt der Begriff des en an, wenn dasselbe ganz andere Grundeigenschaften zeigt,

als seine Theile. Alsdann handelt es sich nicht um eine Vielheit gleic artiger Theile, sondern um eine Zusammenwirkung ungleichart ger Theile. Ein solches Ganze, in welchem sich durch Zusammenwi kung der Theile oder Komponenten neue Grundkräfte entfalte mag ein System heissen. So ist die Pflanzenzelle, indem sie dur die Zusammenwirkung der anorganischen Kräfte der in ihr vereinigt Mineralien die Vegetationskraft entfaltet, ein System.

Da es üblich ist, das Wort System für jedes nach gewissen Prinz pien geordnete, selbst aus gleichartigen Theilen bestehende Ganze gebrauchen, z. B. indem man von einem mechanischen Systeme, eine Planetensysteme, einem Zellensysteme redet; so wollen wir, wenn die U terscheidung wichtig ist, ein System der eben bezeichneten Art, welch durch die Zusammenwirkung seiner ungleichartigen Kom ponenten eine diesen Komponenten selbst nicht zukom mende neue Grundkraft entfaltet, ein Hauptsystem nenne So ist also eine Pflanzenzelle ein Hauptsystem, indem sich in ihr dur die Zusammenwirkung der anorganischen Komponenten die Vegetation kraft entfaltet.

Hat man es nun mit einem Körper zu thun, welcher selbst ein Ag gregat oder eine Vielheit von gleichartigen Systemen bilde so wollen wir ein solches System ein konstituirendes Element od das Grundsystem des Aggregates nennen. So ist z. B. die Zelle d konstituirende Element oder das Grundsystem der Pflanze.

Hieraus ist nun klar, dass die Grundeigenschaften der Körpe und die Grundeigenschaften ihrer konstituirenden Elemente gan identisch sind, die Grundeigenschaft, welche der Eine nicht hat, kann auc der Andere nicht haben und diejenige, welche dem Einen zukömmt, mus auch dem Andern zukommen. Zur Erforschung der Grundeigenschafte und auch aus anderen Gründen ist es daher wichtig, vor allen Dingen nac den konstituirenden Elementen eines Körpers zu fragen, weil die in Beziehung auf Art die wahren Grundsysteme in der Natur da stellen.

Die konstituirenden Elemente eines absolut einfachen un gleichartigen Körpers, also des Äthers oder des Ponderabelen, habe keine bestimmte Grösse und Form, es sind seine unendlich kleine Massentheilchen, welche wir auch Moleküle nennen wollen. Fasse wir nun ein solches unendlich kleines Massentheilchen A des Ponderabele ins Auge und fragen uns nach dessen Kräften. Wir schreiben dem selben Gravitation oder Anziehung zu: allein Gravitation setz eine zweite gleichartige Masse B voraus, auf welche sich dies Kraft äussern kann: fehlt diese zweite Masse, fehlt also die ganze Aus senwelt; so äussert das Theilchen A auch keine Gravitation. Gravitatio ist also gar keine Eigenschaft, welche dem Theilchen A an sich zukömmt sondern eine Eigenschaft, welche dasselbe erst durch die Einwirkun der Aussenwelt oder vielmehr durch die Zusammenwirkung ode die Wechselwirkung mit der Aussenwelt empfängt. Aber auc hierdurch, nämlich durch die Existenz in einer gravitirenden Mitwelt, is die Gravitationskraft des Theilchens A noch nicht fest bestimmt. Den jenachdem eine zweite Masse B dem Theilchen A sich nähert oder sich vo

entfernt, steigt oder fällt die Gravitationskraft von A, und jenach- die zweite Masse B ihren Ort gegen A verändert, verändert sich ichtung der Gravitationskraft von A. Die Gravitation von A ist nichts Anderes, als eine Anlage oder eine Tendenz zu einer be- nten Thätigkeit: im übrigen ist diese Kraft nach Intensität und tung völlig unbestimmt und variabel, sie wird in dieser cht erst durch die Mitthätigkeit der Mitwelt bestimmt, hängt n jedem Augenblicke von der soeben herrschenden Vertheilung der tirenden Massen im Universum ab. Ein Massentheilchen hat an und für sich, d. h. unabhängig von der Mitwelt, nur Anlage zur Bethätigung einer gewissen Eigenschaft, Gravitation. Die Bethätigung dieser Eigenschaft erfolgt oder die Gravitation jenes Theilchens tritt erst in heinung durch die Wechselwirkung mit der Mitwelt indem das Theilchen Bestandtheil eines Systems von hartigen Theilchen wird. Indem wir also sorgfältig zwischen nlage und der Bethätigung dieser Anlage unterscheiden, sagen die Materie besitzt als selbstständige Eigenschaft nur die ge zur Gravitation: die Bethätigung derselben und die Art Bethätigung hängt von dem Vorhandensein und von der räumli- Vertheilung anderer gleichartigen Massen ab.

Die Abhängigkeit der Bethätigung einer Kraftanlage der Mitwelt bildet das Bethätigungssgesetz dieser t, welches man schlechthin ihr Gesetz oder ihr Natur- tz zu nennen pflegt.

chreiten wir jetzt zum Kosmetismus. Ein Äthertheilchen gt Kosmetismus gegen ein Theilchen b des Ponderabelen: ist in Theilchen des zweiten Urstoffes nicht vorhanden; so bethä- as Theilchen des ersten Urstoffes auch keinen Kosmetismus. Aber wenn ein Theilchen b vorhanden ist, ist der Kosmetismus zwi- a und b noch nicht fest bestimmt: denn jenachdem dieses Theil- seine Masse ändert, ändert sich die in dem Kosmetismus liegende ung, d. h. erzeugt sich aus der Verbindung $a + b$ ein Atom Gold isen oder Schwefel oder Sauerstoff oder ein Atom eines anderen ischen Elementes. Wir sehen hiernach, dass auch der Kosmetis- wischen den beiden ungleichartigen Urstoffen in jedem ebenfalls als ge selbstständig, d. h. unabhängig von der Aussenwelt gegeben ist, ber seine Bethätigung und die Art seiner Bethätigung ch von der Wechselwirkung mit der Mitwelt abhängt. Da der tismus nicht in die Ferne wirkt (d. h. da seine Intensität mit der nung sehr rapide abnimmt, ohne im mathematischen Sinne ganz zu en); so entscheidet über den Kosmetismus des Theilchens a nicht nze Mitwelt, sondern nur die nächste Umgebung: dieser Um- berührt nicht unsere allgemeinen Prinzipien über das Wesen der , sondern nur das spezielle Bethätigungsgesetz des Kosmetismus.

Was die konstituirenden Elemente eines chemischen Elemen- fes betrifft; so kann dieser Stoff, da er aus zwei verschiedenen Ur- besteht, unmöglich in allen Punkten gleiche Eigenschaf- aben (denn versetzt man sich in Gedanken auf eine Grenze zwi-

schen den beiden Urstoffen; so befindet sich in einem unendlich benachbarten Punkte links von dieser Grenze nur der eine Urstoff und in einem unendlich benachbarten Punkte rechts von dieser Grenze nur der andere Urstoff). Hieraus folgt mit aller Gewissheit, dass die konstituirende Elemente eines chemischen Elementarstoffes nicht dessen unendlich kleinsten Theilchen oder Moleküle, sondern dass es Theilchen von gewisser Ausdehnung sind, welche wir Atome nennen.

Das Grundsystem eines chemischen Elementarstoffes (wie Gold, Chlor, Sauerstoff) ist also das Atom und dieses Atom stellt ein bestimmtes Hauptsystem der beiden Urstoffe oder, wenn man will, ein bestimmtes System der niedrigeren Grundkräfte der Materie, nämlich der Gravitation und des Kosmetismus dar. Als Resultante dieser niedrigeren Grundkräfte entfaltet sich durch dieses System als höhere Grundkraft die Affinität. Jeder chemische Elementarstoff besitzt übrigens die Affinität zu anderen chemischen Elementarstoffen von Haus aus oder unabhängig von der Mitwelt nur als Anlage. Diese Anlage wird erst eine bestimmte Kraft oder sie bethätigt sich erst mit bestimmter Intensität, Richtung und Neigung unter der Wechselwirkung mit anderen chemischen Elementarstoffen, woraus die chemischen Verbindungen oder Mineralien entstehen. Aus dem Grunde, wie beim chemischen Elementarstoffe, erscheint bei jedem chemisch zusammengesetzten Körper das konstiuirende Element als Atom von sehr kleiner, aber bestimmter Ausdehnung und formeller Zusammensetzung aus den chemischen Elementarstoffen.

Die Entstehung der Anlage zu einer neuen Grundkraft durch das System der niedrigeren Kräfte haben wir schon in No. 1 die Entfaltung dieser höheren Grundkraft genannt. Das was wir dort Entwicklung eines Körpers nannten, ist offenbar nichts Anderes, als die im Vorstehenden näher charakterisirte Bethätigung seiner Grundkräfte in der Wechselwirkung mit der Mitwelt. Wir haben uns vorläufig überzeugt, dass zu der Entwicklung der Gravitation und des Kosmetismus nothwendig die Mitthätigkeit der Aussenwelt erforderlich ist, ferner, dass sich in Folge dieser Entwicklung ein System von Urstoffen bildet, welches als neue Grundkraft die Affinität entfaltet. Die Affinität erscheint in den chemischen Elementen ebenfalls nur als Anlage; zu ihrer Entwicklung ist die Mitthätigkeit der Aussenwelt erforderlich und Diess giebt den zusammengesetzten Mineralien das Dasein.

Die Entfaltung einer höheren Grundkraft ist das Werk der Bildung eines höheren Hauptsystems: das Hauptsystem der kosmetischen Kräfte ist das chemische Atom, in welchem sich die Affinität entfaltet; das Hauptsystem der Affinitätskräfte ist die Zelle, in welcher sich die Vegetationskraft entfaltet; das Hauptsystem der Vegetationskräfte ist der animalische Organismus, in welchem sich der Geist entfaltet.

Bei allen diesen Hauptsystemen bestehen nicht bloss gesetzliche Beziehungen zwischen den Ganzen und ihren Komponenten, sondern auch zwischen den Ganzen selbst. Diese Beziehungen, da sie das Band darstellen, welches das ganze Weltgebäude umschlingt, und da sie geeignet

uns die Eigenthümlichkeit des animalischen Organismus deutzu machen, sind von grösster Wichtigkeit, wesshalb wir dieselben chst klar herauszustellen suchen müssen.

Fassen wir daher irgend ein Hauptsystem, z. B. eine Zelle A, hren Komponenten a, b, c (den Mineralien) ins Auge. Das system A entfaltet durch die Zusammenwirkung der niedrigeren ralischen) Komponenten a, b, c eine Grundkraft (Vegetation), welche Komponenten nicht besitzen. Der Ausdruck nicht besitzen heisst nur nicht zur Erscheinung bringen: die Uranlage zu der en Grundkraft oder die Neigung, diese Grundkraft zu entfalten, allerdings schon in den Komponenten a, b, c und bewirkt, dass die unter geeigneten Umständen, selbst wenn sie vorher isolirt existirch zu dem Hauptsysteme A ordnen. Die Entfaltung der hö Grundkraft ist das Resultat der Zusammenwirkung der Komponen-, b, c. In jedem Hauptsysteme sind die Komponenten a, b, c ichartige Dinge: demzufolge erscheint das Hauptsystem A us nicht als ein Aggregat oder eine Vielheit oder als ein mechani-System, sondern als ein wahrer Organismus: die Komponenten sind nicht Theile, sondern Organe, welche in ihrer gemeintlichen oder systematischen Gesammtwirkung eine Thätigntfalten, welche sehr verschieden ist von derjenigen, welche sie als te Körper gegeneinander ausüben. Die höhere Grundkraft nt hiernach auch nicht als eine Resultante der Kräfte der Komen a, b, c im Sinne mechanischer Zusammensetzung: denn ungleiche Kräfte, wie sie den verschiedenen Körpern a, b, c (z. B. den iten der verschiedenen Mineralstoffe einer Zelle) eigen sind, lassen r nicht im Sinne der Mechanik zusammensetzen. Nur dann, wenn ie gegenseitige Einwirkung verschiedenartiger Dinge, also igungen der Stoffe gehörig mit in Rechnung stellt, kann man die rundkraft des Hauptsystems A die Resultante der Kräfte der Komen a, b, c nennen.

ie neue Grundkraft von A tritt, als unmittelbares Resultat der Thä der Komponenten a, b, c, durchaus nicht als eine nach Maass und estimmte Grösse, sondern nur als eine Anlage auf. Von dieser ist nur das Grundwesen bestimmt, nicht die Grösse, Kraft und der e Werth, d. h. die Komponenten a, b, c verleihen dem Hauptsysteme eine bestimmte Qualität oder Art, welche das Grundwesen der Grundkraft ausmacht: seine Begrenzung oder feste Bestimmung, rösse und seinen relativen Werth gegen andere ähnlichen chöpfungen empfängt das Hauptsystem A oder die neue Grundkraft en durch die Wechselwirkung mit der Mitwelt.

e Wechselwirkung mit der Mitwelt ist von mehreren Seiten zu ben. Für unsere nächsten Zwecke interessiren uns vornehmlich die Wechselwirkungen zwischen den Systemen, welche die Vereini lieser Systeme zu höheren Ganzen oder die Körperbildung ssen. Wir betrachten zu dem Ende die Vereinigungen von Haupten A, B, C... desselben Naturreiches, also Vereinigungen toffen oder von Mineralien oder von Vegetationssystemen oder von schen Systemen, und es wird sich zeigen, dass alle sonstigen Ver-

einigungen auf einer Kombination der hierdurch gewonnenen Begriffe b[e]ruhen.

Die Vereinigungen mehrerer Systeme A, B, C... zu einem Gan[-]zen S haben alle Das miteinander gemein, dass die sich vereinigende[n] Systeme unter der Zusammenwirkung aller oder unter der Herr[-]schaft des Ganzen S irgend Etwas an ihrer Selbstständigkeit ver[-]lieren und an ihren Eigenschaften ändern und dass das Ganze Eigenschaften zeigt, welche mehr oder weniger von denen der vereinigte[n] Systeme abweichen, welche dasselbe also als ein selbstständiges Wesen darstellen. Allein nach dem Grade, in welchem die Systeme A, B, ihre Selbstständigkeit einbüssen oder die Vereinigung S derselbe[n] sich als ein eigenthümliches Ganze zeigt, sind mehrere Stufen z[u] unterscheiden.

Vor allen Dingen sind die Vereinigungen der Systeme A, B, C i[n] zwei grosse Hauptklassen zu stellen, in Aggregatsysteme oder schlecht[-]hin Aggregate und in zusammengesetzte Systeme oder Kompo[-]sitionssysteme oder schlechthin Zusammensetzungen oder Ver[-]bindungen.

In einem Aggregate behalten die vereinigten Systeme A, B, C all[e] ihre wesentlichen Eigenschaften, also sowohl die Art, als die spezie[l]len Werthe ihrer Grundkräfte bei, bewahren also in allen wesentli[-]chen Beziehungen ihre Selbstständigkeit. Das Aggregat S zeig[t] demnach die wesentlichen Eigenschaften der vereinigten Systeme A, B, C und die Letzteren bilden daher die konstituirenden Elemente de[s] Ganzen. So ist ein Krystall ein Aggregat chemischer Atome, und ein[e] Pflanze ein Aggregat von Zellen.

In einer Zusammensetzung oder einem Kompositionssystem[e] dagegen geht die Selbstständigkeit der vereinigten Systeme A, B, C in der Hinsicht zu Grunde, dass ihre Grundkräfte zwar die allgemein[e] Qualität der Kräfte des betreffenden Naturreiches beibehalten, aber ihr[e] speziellen Werthe durchaus ändern, sodass das Ganze S eigenthüm[-]liche Eigenschaften zeigt, welche die vereinigten Systeme allein nicht besitzen. Die letzteren Systeme werden also wahrhaft verschmol[-]zen, bilden keine konstituirenden Elemente, sondern Kompo[-]nenten des Ganzen. So ist jede chemische Verbindung oder jeder che[-]mische Körper, z. B. Natron, ein Kompositionssystem, in welchem Natrium und Sauerstoff nicht konstituirende Elemente, sondern Komponenten sind.

Die Bildung von Aggregaten und von Zusammensetzungen beruht nicht auf Zufall oder Willkür, sondern auf Gesetzen. Die Natur der Systeme A, B, C entscheidet darüber, ob dieselben sich zu Aggregaten oder zu Zusammensetzungen vereinigen und zwar ist es die Verwandt[-]schaft (bei den Mineralien die Affinität), welche hierbei maassgebend ist. Die Eigenschaften, welche die Systeme A, B, C besitzen müssen, um sich zu Zusammensetzungen zu befähigen, begreifen wir unter dem Namen der Wahlverwandtschaft. So sind Eisen und Sauerstoff, auch Natron und Kohlensäure wahlverwandt und bilden die Kompositions[-]systeme Eienoxyd und Soda. Es ist klar, dass nur ungleichartige Systeme Zusammensetzungen bilden können, dass also die Kompo[-]sition wesentlich eine Wirkung der Ungleichartigkeit ist.

Was nun die Aggregate betrifft; so ist klar, dass vor allen Dingen ig gleiche Systeme A, A, A... ein Aggregat S zu bilden ver-n, dessen konstituirendes Element A ist.

Nun giebt es zwischen Komposition und Aggregat eine Zwischen- die Mischung, bei welcher die sich vereinigenden Systeme A, B, C vesentlichsten Eigenschaften zwar hinsichtlich der Art und des spe- n Werthes der Grundkräfte beibehalten, bei welcher aber doch Selbstständigkeit hinsichtlich der Form oder Anordnung der oonenten beschränkt wird, was denn zuweilen indirekt eine Verände- der übrigen Eigenschaften zur Folge haben kann. Systeme, welche Bedingungen entsprechen, welche also mischbar sind oder eine ge Aggregation zulassen, wie z. B. Kupfer und Zink, Eisen und nstoff, nennen wir formverwandt.

Es ist klar, dass aus den durch Wahlverwandtschaft gebildeten Kom-onssystemen, sowie aus den durch Formverwandtschaft gebildeten ssystemen Aggregate gebildet werden können. So ist ein Quarz-ll das Aggregat des durch Wahlverwandtschaft aus Kiesel und stoff komponirten Atoms von Kieselerde, ein Gusseisenkrystall da- das Aggregat des durch Formverwandtschaft gemischten Atoms von und Kohlenstoff.

Ausser den Mischungen hätten wir auch noch der Gemenge zu ken. Hierunter verstehen wir Aggregate von selbstständigen emgruppen, wie z. B. Granit, Sandstein. Nicht alle Systeme ver-n sich in regelmässigen Gruppen zu solchen Aggregaten. Solche, ierzu befähigt sind, müssen gewissen Bedingungen entsprechen, wir unter dem Namen der Seitenverwandtschaft verstehen ..

n der Zusammensetzung wird die Selbstständigkeit der kom-nden Systeme A, B, C in der Hinsicht geschmälert, dass die dieser Systeme ihre speziellen Werthe verlieren und dafür unter errschaft des Kompositionssystems andere Werthe annehmen. Es aber eine Steigerung dieser Unselbstständigkeit, wo auch das dwesen oder die Qualität, die Art dieser Kräfte eine Änderung t. Diess tritt ein, wenn sich die Systeme A, B, C selbst wie- u einem Hauptsysteme S verbinden, also zu einem Systeme, chem sich die nächst höhere Grundkraft entfaltet, wenn also lsweise die Mineralsysteme A, B, C zu einer Pflanzenzelle S nentreten, also die Vegetationskraft entfalten. In diesem Falle e Rolle, welche eine Komponente A als Mineralsystem spielt, wesentliche Bedeutung mehr für unseren Begriff von der Zelle; e hat also ihre Selbstständigkeit sowohl hinsichtlich des spe- Werthes, als auch hinsichtlich der Art ihrer Kräfte eingebüsst ; in die höhere Einheit des Vegetationssystems vollständig angen.

ber nicht alle wahlverwandten Systeme A, B, C vermögen ein s Hauptsystem S zu bilden, sondern nur solche, welche in be-en Beziehungen zueinander stehen. Diese Beziehungen umfasse ich n Namen der Freundschaft. Während die Zusammensetzung nur je zwei Systeme und zwar in gewissen einfachen Zahlenver-

hältnissen verbindet, also Wahlverwandtschaft sich immer auf d Wechselwirkung von je zwei Systémen bezieht, verbindet ein Haup system im Allgemeinen eine grössere Zahl von Systemen und zwar komplizirten Zahlenverhältnissen, sodass also Freundschaft sich auf d Wechselwirkung ganzer Gruppen von Systemen bezieht. Hieraus fol denn auch, dass die chemischen Verbindungen, welche sich auf anorg nischem Wege bilden, stets binär sind, dass aber in den vegetab lischen Prozessen sich sehr komplizirte chemische Verbindung herstellen können. Die neueren Anschauungen der Metalepsie, welc meines Erachtens völlig begründet sind, sind denn auch aus den Unters chungen organischer Produkte gewonnen und wir selbst haben in §. No. 11 im Prozesse des Sehnerven einen metaleptischen Vorgang kannt.

Übrigens müssen wir noch hervorheben, dass in dem höheren Haup systeme S nicht bloss die Wahlverwandtschaft, sondern auch d Formverwandtschaft und die Seitenverwandtschaft eine Ro spielt, indem im Allgemeinen bei der Vereinigung der Systeme A, B, gewisse Systeme sich zusammensetzen, gewisse sich mische und gewisse sich gruppenweise aggregiren. Unter Freundscha verstehen wir jedoch immer diejenigen Gruppen wahlverwandt Systeme A, B, C, welche die in dem Hauptsysteme S vorkommenden e gentlichen Zusammensetzungen bilden.

Aus den verschiedenen Systemen A, B, C, welche auf einer gleich Rangstufe eines Naturreiches stehen, bilden sich also aus den wahlve wandten Systemen Kompositionssysteme, deren Grundkräf andere Werthe, aber keine andere Art annehmen: schliesslich entsteh durch fortgesetzte Verbindung der befreundeten Systeme A, B, und durch Mischung und Gruppirung derselben Hauptsystem S, in welchen sich die nächst höhere Grundkraft entfaltet, in welch also die Grundkräfte der Komponenten A, B, C vermöge der Zusamme wirkung zu einer höheren Natureinheit nicht bloss andere Werth sondern eine andere Art annehmen. Hiermit ist nicht gesagt, dass d Komponenten A, B, C neben der neuen Grundkraft ihre älteren Grun kräfte ganz verlören, sondern nur, dass diese älteren Grundkräfte unt die Herrschaft oder Abhängigkeit von einer neuen Kraft gese werden. Dabei behalten also die älteren Kräfte ihr ursprüngliches Wese vollkommen bei: allein ihre Thätigkeit, oder die von ihnen hervorg brachten Erscheinungen erleiden eine spezifische Modifikation, inde sich das Gesetz jener älteren Kräfte mit dem der neuen Kraft kombinir in dieser Abhängigkeit von einer höheren Gewalt, machen si fortwährend ihre eigenen Grundgesetze geltend.

Das aus den Systemen A, B, C gebildete Hauptsystem S tritt i das nächst höhere Naturreich hinüber und nur in dieser Bezie hung nennen wir dasselbe ein Hauptsystem. Die Systeme A, B, C sin ebenfalls Hauptsysteme, aber in Beziehung auf das nächst niedriger Naturreich. Die Hauptsysteme stellen sich also nach den Naturreiche in Rängen übereinander. So ist der chemische Elementarstoff Gold ei Hauptsystem des vorhergehenden Naturreiches der beiden Urstoffe Äthe und Ponderabeles oder des Urreiches und die Zelle ist ein Hauptsysten

Mineralreiches. Ja, jedes Reich umfasst die Zusammensetzungen Hauptsysteme A, B, C des vorhergehenden Naturreiches und es ist , dass diese Hauptsysteme oder Schlussglieder des vorhergehenden hes die Anfangsglieder des darauf folgenden Reiches sind, dass je zwei Naturreiche immer durch dieselbe Ordnung von chöpfen miteinander verbunden sind.

In der Stellung als Anfangsglieder eines Naturreiches, wo sie dieselben Grundkräfte besitzen, wie alle Geschöpfe dieses Reiches, en wir nun die Hauptsysteme A, B, C des vorhergehenden Reiches Grundsysteme des darauf folgenden Reiches nennen. Hiernach sind chemischen Elementarstoffe zugleich die Hauptsysteme des Ur-hes und die Grundsysteme des Mineralreiches, und gewisse en (von welchen weiter unten näher die Rede sein wird) sind zu-h die Hauptsysteme des Mineralreiches und die Grundsysteme Pflanzenreiches.

Durch Verbindung mehrerer wahlverwandten vegetabilischen Grund-me entstehen nun die zusammengesetzten Vegetations-teme. Hierunter aber sind nicht etwa die Pflanzen zu verstehen: die Pflanze ist kein Vegetationssystem, sondern ein Aggre-von solchen Systemen: das eigentliche System ist die Zelle. Ein zu-mengesetztes vegetabilisches System ist also eine Zelle, in welcher rere wahlverwandten Grundsysteme zu einem neuen Systeme miteinan-verbunden sind, ganz ebenso wie in der Schwefelsäure das minera-e Grundsystem des Schwefels mit dem des Sauerstoffes zusammenge-ist.

Die komplizirte Komposition befreundeter Vegetations-teme in gewisser Anordnung, also ein nach einem gewissen zipe geordnetes Ganze von verschiedenartigen, aber eundeten Zellen bildet ein vegetabilisches Haupt-tem oder ein animalisches Grundsystem. Wahlverwandte alische Grundsysteme können sich wiederum zu animalischen positionssystemen verbinden. In dem Thiere kömmt ein es animalisches System (sei es ein Grund- oder ein Kompositions-m) zur Erscheinung. Das Thier ist kein Aggregat, sondern ein elnes System, wie die Pflanzenzelle, wie das chemische Atom, das Molekül eines Urstoffes. Was die Aggregate betrifft; so m Pflanzenreiche die Pflanze ein Aggregat von Zellen, im Mineral-e der Krystall ein Aggregat von chemischen Atomen, im Urreiche eine e ein Aggregat von Molekülen. Wenn man nach den Aggregaten hierreiche fragt; so muss man erwägen, dass in jedem Aggregate das stituirende Element seine volle Selbstständigkeit be-t und ein Ganzes erzeugt, welches wiederum mit dem konstituirenden enten gleichartig ist. Demnach kann es kein animalisches Aggregat n, worin mehrere Thiere miteinander zu einem einzigen chöpfe, d. h. zu einem Geschöpfe mit einem einzigen Geiste wachsen wären: denn hierbei wäre ja offenbar das Haupt-rium der animalischen Selbstständigkeit, nämlich die stbestimmung (freie Bewegung, Einheit, Selbstbewusstsein u. s. w.) lich verloren gegangen oder überhaupt nicht vorhanden. Ein ani-

malisches Aggregat, in welchem die konstituirenden Elemente ih[illegible] Selbstständigkeit bewahren und das Ganze mit diesem Elemente gleic[illegible] artig ist oder nur eine höhere gleichartige Einheit jenes Elementes da[illegible] stellt, kann nur aus selbstständigen, freien Individuen bestehen, i[illegible] also eine Gesellschaft von gleichartigen Individuen. So ist z. [illegible] die Menschheit in ihrer Totalität das umfassendste menschliche Aggreg[illegible] auf der Erde: allein jedes Volk, jede Familie, jede Verbindung von Me[illegible] schen kann in ihrem Zusammenwirken als ein menschliches Aggreg[illegible] angesehen werden. Dass diese Gesellschaften wirkliche, selbstständige Gan[illegible] aus konstituirenden Elementen bilden, wie ein Krystall, wie ei[illegible] Pflanze, wird nicht zweifelhaft bleiben, wenn man sich die besonder[illegible] Eigenschaften derselben vergegenwärtigt, Eigenschaften, welche si[illegible] in den Begriffen von Volksgeist, Zeitgeist, Volkscharakter, Kultur, Nati[illegible] naltypus, Volksentwicklung, Geschichte, Verfassung, Kirche, Staat u[illegible] tausend anderen spiegeln.

4. **Art.** System ist der abstrakte Inbegriff der Kräfte und Th[illegible] tigkeiten, welche ein Ganzes bilden: die Verwirklichung ein[illegible] Systems oder die Erscheinung eines Systems bildet ein Geschöp[illegible] ein Wesen, einen Körper. Der Inbegriff der Eigenschaften ein[illegible] Geschöpfes, welche ihm durch das ihm zu Grunde liegende System ve[illegible] liehen werden, nennen wir jetzt die Art des Geschöpfes; man erken[illegible] also, dass System und Art zwei einander gegenseitig fest bedingend[illegible] Begriffe sind.

Die vier grossen Naturreiche, von welchen das erste die beide[illegible] Urstoffe Äther und Ponderabeles, das zweite die Mineralien, das dritt[illegible] die Pflanzen und das vierte die Thiere umfasst, unterscheiden sich da[illegible] durch, dass den Geschöpfen jedes höheren Reiches eine höhere Grund[illegible] kraft, resp. der Kosmetismus, die Affinität, die Vegetationskraf[illegible] der Geist neben Kräften der unteren Reiche eigen ist.

Die Entfaltung einer neuen Grundkraft bedingt aber keineswe[illegible] Identität aller daraus hervorgehenden Systeme. Denn das System is[illegible] in seinem Grundwesen nicht bloss durch das Vorhandensein einer ge[illegible] wissen Anzahl von Grundkräften, sondern auch durch das Verhältnis[illegible] dieser Grundkräfte unter sich bedingt. Jedes andere Verhältnis[illegible] giebt ein anderes System oder eine andere Art. Die chemischen Ele[illegible] mente Gold, Silber, Kalzium, Sauerstoff u. s. w., obgleich sie alle au[illegible] Äther und Ponderabelem bestehen, sind sehr ungleichartig. Dies[illegible] Ungleichartigkeit entspringt aus dem verschiedenen Mischungsverhältnisse[illegible] in welchem Äther und Ponderabeles darin verbunden sind und hat di[illegible] verschiedene Affinität oder Neigung der einzelnen Elemente und all[illegible] sonstigen sogenannten spezifischen Verschiedenheiten oder Eigen[illegible] thümlichkeiten zur Folge, wodurch ein jedes chemische Element al[illegible] eine selbstständige Geschöpfart erscheint. Das Kriterium de[illegible] Verschiedenartigkeit liegt nämlich darin, dass die Eigen[illegible] schaften zweier Systeme nicht in einem messbaren Verhält[illegible] nisse zu den Änderungen der Grundbestandtheile de[illegible] Systeme, aus welchen sie entsprungen sind, stehen, son[illegible] dern auf einer Verwandlung beruhen.

Was eben von den chemischen Elementen gesagt ist, gilt von den mengesetzten chemischen Körpern oder den Mineralien im gemeinen. Jeder aus anderen Grundstoffen bestehende Körper ist eigenthümliches oder eigenartiges Geschöpf, ein besonderes tem. Ja, selbst wenn die Bestandtheile eines Körpers qualitativ elben, quantitativ aber verschieden sind, wie in den Oxyden, den dulen und den Säuren, erzeugt die Affinität eigenthümliche Eischaften.

Wenn wir nun annehmen, dass die verschiedenen chemischen Elete nur verschiedene Mischungsverhältnisse von Äther $\ddot{A}$ und Pondelem P sind; so kann man irgend eines dieser Elemente durch die symsche Formel $\ddot{A}_a P_b$ darstellen, worin a und b Zahlen sind.

Dass die Verschiedenheit des Quantitätsverhältnisses bei der bindung ungleichartiger Stoffe (Äther und Ponderabeles) so spezifisch chiedene Körper wie die chemischen Elemente schaffen kann, dafür das sprechendste Zeugniss in denjenigen chemischen Körpern, welche, verschiedenen Quantitäten derselben Elemente bestehend, so aus verschiedenartige Eigenschaften zeigen, wie z. B. die Oxyde, die dule und die Säure derselben Grundstoffe. Diese faktische Ereinung ist es also, welche unserer Hypothese über die Zumensetzung aller chemischen Elemente aus denselben bei Urstoffen ihre Wahrscheinlichkeit verleiht.

Die wesentliche Eigenschaft eines chemischen Elementes ist nun Affinität oder Wahlverwandtschaft zu den anderen Eleten, welche sich theils in einer besonderen Neigung zu den einzelnen nenten, theils durch die eigenthümliche Fähigkeit, nur Verbindungen estimmten Quantitätsverhältnissen einzugehen, ausspricht. Eine e vielseitige Eigenschaft lässt sich offenbar nicht durch eine einne Formel darstellen: es soll daher nur zur Erleichterung der Über der nachfolgenden Gesetze dienen, wenn wir den Ausdruck gebrau, in irgend einem chemischen Elemente realisire sich ein bestimmter faltungsgrad der Affinität A, und demzufolge dieses Ele, welches nach seiner Zusammensetzung aus Äther und Ponderabelem h die Formel $\ddot{A}_a P_b$ dargestellt ist, mit dem Zeichen A^c belegen.

Ein zusammengesetzter chemischer Körper würde hiernach h eine Formel von der Gestalt $\ddot{A}_a P_b + \ddot{A}_c P_d + \dots$ oder auch $P_b + n\dot{A}_a P_b + \dots$ dargestellt oder durch das Zeichen $A^c + A^d + \dots$ eten sein.

Im Pflanzenreiche, wo sich die Vegetationskraft V zu den frün gesellt, erscheint nach der Analogie des Vorstehenden jede nze als ein besonderer Entfaltungsgrad der Vegetationst neben einem besonderen Grade der Affinität, kann also h das Symbol $A^a V^b$ versinnlicht werden.

Indem endlich im Thierreiche noch die geistige Kraft G hinzukann man das Thier als einen gewissen Entfaltungsgrad des tes neben gewissen Graden der Vegetationskraft und der nität ansehen und durch das Symbol $A^a V^b G^c$ darstellen.

Um jetzt auf die Erkenntniss der bestehenden Arten einzugemuss ich die Ansicht voranschicken, dass das wahre Wesen einer Art

nicht ohne Weiteres aus den Eigenschaften der bestehenden Individu erkannt werden kann, dass vielmehr, um hierin Einsicht zu erlange auf das Wesen der Entstehung der Arten zurückgegangen werd muss. Hiermit verbinde ich den Satz, dass meines Erachtens die En stehungsprozesse der Geschöpfe in allen Reichen von denselb Grundprinzipien geleitet sind und geleitet werden, dass also ei Erkenntniss dieser Prinzipien für irgend eines dieser Reiche den Schlü sel zu den analogen Prinzipien für die anderen Reiche liefert, dass mith keine Erklärung für zulässig gehalten werden kann, welche nicht in ihr Prinzipien die ähnlichen Erscheinungen in allen Reichen erläutert.

Das Mineralreich ist das einfachste und unserer heutigen Wisse schaft am besten zugängliche, wir müssen daher von hier aus die G sichtspunkte zu gewinnen suchen.

Ich glaube, ohne Widerspruch die chemischen Elemente A^a fü die Grundarten oder Grundsysteme des Mineralreiches anne men zu dürfen. Alsdann sind aber die zusammengesetzten Kör per oder die Mehrzahl der Mineralien $(A^a + A^b + \ldots)$ zusam mengesetzte Arten des Mineralreiches. Hierbei konstatiren wir nu dass jeder wirkliche chemische Körper, also jede dieser zusammen gesetzten Arten des Mineralreiches einen ganz selbstständigen un eigenthümlichen Körper, durchaus nicht ein Gemisch seiner Grun bestandtheile darstellt, d. h. dass in den Eigenschaften jenes Körpe durchaus nicht die Eigenschaften seiner Bestandtheile enthalten sind.

Wie kömmt es nun, dass das Mineralreich auf der Erde, wenigsten in der zugänglichen Erdrinde, in ganz überwiegendem Maasse nur zu sammengesetzte Arten, keine Grundarten (Elemente) aufweis auch dass dasselbe nur eine beschränkte Zahl von Elementen ent hält? Ohne uns tief in die Schöpfungsgeschichte einzulassen, ist diese Faktum aus unserer Fundamentalhypothese sehr verständlich. Vergegen wärtigen wir uns, dass in den vom Äther erfüllten Raum durch irgen eine Veranlassung eine gewisse Menge Ponderabeles zur Wirkung oder i Thätigkeit kam, also ihren Kosmetismus gegen den Äther entfaltete. D dieses Ponderabele in dem grossen Raume, um welchen es sich handelt unmöglich überall gleiche Dichtigkeit haben konnte, musste das Mi schungsverhältniss von Äther und Ponderabelem an verschiedenen Stellen verschieden sein: es mussten sich also verschiedene Ele- mente bilden. War aber die Variation der Dichtigkeit des Ponde- rabelen in jenem Raume nicht sehr gross, wie es der Fall gewesen sein mag; so konnte die Anzahl der entstehenden Elemente ebenfalls nicht gross ausfallen: denn es ist eine eigenthümliche Eigenschaft des Kosme- tismus, wie auch der Affinität und aller übrigen Grundkräfte, dass er Ver- bindungen von variabelen Quantitäten der Bestandtheile nicht mit glei- cher Leichtigkeit oder Neigung eingeht und dass diese Neigung durchaus nicht dem Mischungsverhältnisse proportional ist. War also an irgend einer Stelle des Raumes das Mischungsverhältniss des Gol- des vorhanden; so bildete sich daselbst Gold: wich aber das Mischungs- verhältniss von diesem Verhältnisse ein wenig ab; so bildete sich daselbst nicht etwa ein dem Golde sehr ähnliches Element, sondern es bilde-

sich zwei oder mehrere Elementarstoffe, vielleicht Gold und eine ıe Menge Sauerstoff oder Eisen.

Zunächst geht aus dieser Betrachtung hervor, dass es durchaus nicht rscheinlich ist, dass alle Himmelskörper, auch nicht die Planeten und anten unseres Sonnensystems, aus denselben Elementen bestehen, aber sicherlich gewisse Elemente mehreren Himmelskörpern gesam angehören.

Ferner ist klar, dass die Periode, wo sich chemische Elemente bil-ı, zugleich die günstigste war, um chemische Verbindungen zu n. Denn theils mussten nach dem eben Gesagten an jeder Stelle des ıes verschiedene chemische Elementarstoffe und zwar in fein heilter oder Molekularform entstehen und ausserdem war der egatzustand, in welchen die Elemente eintraten, der der tropfbaren gasförmigen Flüssigkeit. Hieraus folgt, dass sich die chemischen ıente nur in seltenen Fällen oder nur an gewissen Stellen isoliren ten, dass sich vielmehr vorwiegend zusammengesetzte Körbilden mussten. Diese chemisch zusammengesetzten Körper, wie Eisenoxyd, Kieselerde, Kalkerde u. s. w. komponirten sich ausserbis zur Erhärtung der Erdrinde zu manchen anderen, nicht chemisch, rn nur mechanisch zusammengesetzten Körpern wie Granit, Grünstein w., mischten sich auch wohl wie Silber und Gold oder Kupfer und oder Eisen und Kohlenstoff.

Hieraus erklärt sich also das sporadische Vorkommen der Grund-ı und das allgemeine Vorkommen der zusammengesetzten n im Mineralreiche auf eine ganz ungezwungene Weise.

Ganz dasselbe gilt vom Pflanzenreiche. Welches auch die Verung zum Eintritte einer der vielen und dauernden Schöpfungslen dieses Reiches, d. h. zum Zusammenschiessen der Mineralien zu n und demgemäss zur Entfaltung der Vegetationskraft gesein mag; so ist doch offenbar, dass eben dieselben Verhältnisse, e überhaupt die Entfaltung der vegetabilischen Grundsysteme ermöglichten, für die sofortige Verbindung der wahlverlten Grundsysteme, d. h. für die unmittelbare Entstehung der mmengesetzten Arten $A^a V^b + A^c V^d + \ldots$ die allergünten waren.

Demgemäss ist es nicht bloss möglich, sondern als gewiss anzusehen, eine Grundarten im Pflanzenreiche ebenso selten, wie reine cheElemente, dass vielmehr im Allgemeinen nur zusammengesetzte ı entstanden sind.

Vendet man diese Argumentation auf das Thierreich an, wie es tionelles Verfahren durchaus verlangt; so leuchtet ein, dass aus den fungsperioden des Thierreiches unmittelbar nur als Seltenheit eine Grundart $A^a V^b G^c$, als allgemeine Regel aber zusammenzte Arten $A^a V^b G^c + A^d V^e G^f + \ldots$ hervorgehen mussten.

Velches die Grundarten des Pflanzen- und des Thierreiches, ı den lebenden Geschöpfen wirklich enthalten sind, seien, ie Botanik und Zoologie in ähnlicher Weise zu ermitteln, ie Chemie aus den Mineralien die chemischen Elemente estellt hat. Wir werden jedoch in No. 8 und 9 sehen, dass diese

Grundarten in den zusammengesetzten Arten nicht durch das *Auge* er-kannt werden können, ebensowenig wie die chemischen Elemente, solange sie Bestandtheile von Mineralien sind, zu *sehen* sind, dass auch die wahre verwandtschaftliche Verbindung zweier Grundarten, ebenso wie die che-mische Verbindung zweier Elemente eine zusammengesetzte Art von ganz *selbstständigem und eigenthümlichem* Charakter erzeugt, dass also darüber, ob die Eiche, die Rose, das Gras, das Moos, ob das Pferd der Hund, der Adler, der Haifisch, der Affe, der Mensch *Grund- oder zusammengesetzte Arten* seien, nicht ohne Weiteres nach deren äusserem Aussehen geurtheilt werden kann.

Überhaupt können sehr wohl zusammengesetzte Arten existiren, ohne dass die Grundarten davon unter den leben-den Geschöpfen sich befinden. Der Kalk, der Gips existirt in un-geheuren Massen, das Kalzium jedoch nirgends.

Die *Grundarten eines Naturreiches* sind daher aus den ge-gebenen Individuen nur auf dem Wege eines rationellen *Schlussver-fahrens* zu konstruiren. Einzig und allein auf diesem Wege sind auch die *chemischen Elemente* bestimmt: dass ein chemischer Körper ein *Element* sei, lässt sich demselben, auch wenn es isolirt ist, durchaus nicht *ansehen*; ja manches Element, dessen Haupteigenschaften festge-stellt sind, hat *noch nie ein menschliches Auge erblickt*.

5. Urtypus. Aus der vorstehenden Betrachtung ergeben sich eine Reihe wichtiger Folgerungen.

Zunächst erkennt man, dass weil an der Spitze der Gesammtheit aller Naturreiche nicht *ein einzelner*, sondern *zwei* Urstoffe, nämlich der *Äther* und das *Ponderabele* stehen, es in keinem Reiche einen sogenann-ten *Urtypus* im Sinne der Naturphilosophie oder ein *vollkommen-stes Vorbild, nach welchem die Natur strebt* und welches alle übrigen Typen als die Resultate einer *unvollkommenen* oder *verfehlten Naturthätigkeit* erscheinen lässt, geben kann. Denn unter einem solchen Urtypus oder Urbilde wäre dasjenige Geschöpf zu verstehen, welches den *obersten Schlussstein* in der Reihe der Arten bildete, welche sich aus der Anwendung des dem betreffenden Reiche zu Grunde liegenden *Systemgesetzes* durch alle denkbaren Variationen der in diesem Gesetze enthaltenen Elemente ergäben. Nun ist aber der Aus-gangspunkt schon des untersten, nämlich des *Mineralreiches*, selbst wenn man dieses Reich in seiner *idealen Ausdehnung* über die Gren-zen des wirklich Bestehenden hinaus betrachtet, nicht eine *Spitze* oder *ein einzelnes Glied*, sondern eine *ganze Reihe* von *Gliedern*, an deren beiden äussersten Enden, als hervorragende und gleichberechtigte ideale Ausgangspunkte der *Äther* und das *Ponderabele* stehen, wäh-rend dazwischen alle möglichen verwandtschaftlichen Verbindungen dieser beiden Urstoffe liegen. Diese Reihe ist durch die Formel

$$\ddot{A} P_0 \;\ldots\ldots\; \ddot{A}_a P_b \;\ldots\ldots\; \ddot{A}_0 P$$

dargestellt.

Das Mineralreich erbaut sich also auf dieser Linie nicht als eine Reihe oder Linie, sondern als eine *unendliche Menge von Reihen*

-he alle denkbaren chemischen Verbindungen enthalten. Die ideale :setzung führt demnach nicht zu einer Spitze oder zu einem Urtypus, dern zu unendlich vielen Urtypen.

Betrachtet man jedoch das gesammte Mineralreich nach Ordnungen, m man die Elemente in die Grundordnung stellt, die einfachen bindungen in die erste, die Doppelverbindungen in die zweite f.; so erkennt man schon, dass noch nicht einmal in jeder Ordnung einem Urtypus die Rede sein kann. Denn die Grundordnung der nente bildet einen allmählichen Übergang von dem einen Urstoffe, Äther, durch alle denkbaren Elemente zu dem anderen Urstoffe, Ponderabelen. Möglich ist es übrigens, ja sogar wahrscheinlich, sich unter diesen Elementen eines befindet, welches sich vor allen gen durch solche Eigenschaften auszeichnet, welche für gewisse :cke besonders schätzbar sind, vielleicht das Element $Ä_{1/2} P_{1/2}$, in hem Äther und Ponderabeles zu gleichen Theilen verbunden ist, fern diese Gleichheit einer kosmetischen Neigung entspricht, das nent also überhaupt möglich (gleichviel ob auf Erden vorhanden oder t) ist. Wenn man dieses Element das Urbild der Elemente nennen te; so dürfte man dabei nur an eine gewisse Vorzüglichkeit, durchaber nicht an eine Absicht der Natur denken, dieses und nur es Element zu erzeugen.

Dieselbe Betrachtung lässt sich für alle Ordnungen des Mineralreiches erholen. Die ideale Reihe der Ordnungen ist unendlich; je höher uf, desto komplizirter werden die Verbindungen. Endlich aber ert meines Erachtens die Komplizirtheit in der einen und in der ande- Richtung denjenigen Grad, welcher der Entfaltung der Vegetaiskraft günstig ist, und die Ordnungen des Mineralreiches gehen und nach in die des Thierreiches über, wobei natürlich vorausgesetzt , dass die äusseren Umstände (Temperatur u. s. w.) der Entfaltung Vegetationskraft oder der Zellenbildung angemessen seien. Das usspringen der Zelle aus einem höheren Gliede einer Mineralreihe lso immer an gewisse äussere Bedingungen geknüpft, deren Nichterng die Fortsetzung derselben Reihe als Mineralreihe nach sich . Demnach steigen die Ordnungen des Mineralreiches bei idealer vicklung als anorganische Gebilde ins Unendliche auf und aus n Ordnungen entspringen die vegetabilischen Ordnungen wie Zweige, ne sich in jeder Entwicklungsreihe innerhalb gewisser Grenzen höher tiefer ansetzen, jenachdem die äusseren Umstände es bedingen.

In ähnlicher Weise, wie das Pflanzenreich aus dem Mineralreiche, pringt das Thierreich aus dem Pflanzenreiche. Es werden die Überge zwischen je zwei Reichen, die Geschöpfe erklärlich, welche, wie togamen, theils Mineralien, theils Pflanzen, oder wie Korallen und pen, theils Mineralien, theils Thiere, oder wie Infusorien, theils Pflan- theils Thiere zu sein scheinen.

Übrigens ist klar, dass das Entspringen eines Naturreiches aus dem ren und der Übergang zwischen diesen Reichen durchaus nicht eine wicklung der einzelnen Geschöpfe auseinander bedeutet, dass vielmehr lediglich von besonderen Entfaltungs- oder Schöpfungsn die Rede ist.

Von einem Urtypus kann also in dem Sinne keine Rede sein, dass derselbe alle Eigenschaften im höchsten Grade besässe, welche durch die in dem betreffenden Naturreiche waltenden Kräfte hervorgebracht werden können, auch nicht in dem Sinne, dass er das Ziel wäre, für welches alle bestehenden Arten nur Durchgangsstadien wären, welches sich also aus diesen Arten bei genugsamer Vervollkommnung entwickeln würde. Jede Art ist vielmehr ein selbstständiger, unvergänglicher Urtypus, welcher sich durch gewisse eigenthümliche Eigenschaften auszeichnet und welcher unter den bei seiner Schöpfung obwaltenden Umständen einzig und allein sich durch die in seiner Sphäre wirkenden Grundkräfte zu bilden vermochte, welcher also nicht als ein unfertiger, der Verbesserung bedürftiger, sondern als ein seinem Zwecke vollkommen entsprechender Naturakt erscheint.

Übrigens lässt sich der Begriff des Urtypus oder Urbildes noch von einer anderen Seite betrachten. Jede Art zeigt die auf Wahlverwandtschaft gegründeten Neigungen, sich mit anderen Arten zu verbinden. Je stärker diese Neigungen sind, desto schwächer ist offenbar die Intensität, womit jene Art als selbstständiges System existirt: denn sie muss jene naturgesetzlichen Neigungen bei gegebener Gelegenheit befriedigen, sich also mit anderen Arten zusammensetzen und dadurch ihre Selbstständigkeit verlieren. Man kann daher sagen, je stärker und je vielseitiger die Verwandtschaft einer Art zu anderen ist, desto weniger seien in dieser Art die Bestrebungen der Natur befriedigt und diejenige Art, welche gar keine Verwandtschaft zu irgend einer anderen habe, enthalte den Ausdruck vollständiger Befriedigung der Grundkräfte, stelle also das Urbild für das betreffende Naturreich dar.

Diese Auffassung hat allerdings eine wesentliche Bedeutung. Prüfen wir damit zunächst das Reich der beiden Urstoffe; so müssen wir aus der Thatsache, dass der Äther, nicht aber das Ponderabele isolirt existirt, den Schluss ziehen, dass Letzteres unter den Verhältnissen, welche im sichtbaren Weltenraume herrschen, überhaupt nicht isolirt zu existiren vermag, dass also nicht das Ponderabele, sondern der Äther das Urbild der Urstoffe sei.

In den höheren Reichen kann keine zusammengesetzte Art den Anspruch auf das Urbild erheben, weil ihre Selbstständigkeit durch die vielseitigere Verwandtschaft mit anderen Arten offenbar mehr gefährdet ist, als die der Grundarten. Das Urbild jedes Naturreiches kann daher nur unter den Grundarten gesucht werden.

Im Mineralreiche wären also die chemischen Elemente zu prüfen. Stoffe wie Kalzium, Natrium, Kalium, Sauerstoff, Wasserstoff müssen dem Urbilde fern liegen, da sie eine sehr heftige und vielseitige Verwandtschaft zeigen und demnach zahlreiche chemische Zusammensetzungen bilden. Elemente wie Sauerstoff und Wasserstoff liegen zu weit nach der Seite des reinen Äthers, Elemente wie Kalzium, Natrium und Kalium zu weit nach der Seite des reinen Ponderabelen. Offenbar nähern sich die edlen Metalle, insbesondere Gold, welche die schwächste und die am

igsten vielseitige Affinität zeigen, also auch die wenigsten Verbindun- stiften, dem Urbilde des Mineralreiches. In diesem Urbilde s die Verbindung der beiden Urstoffe Äther und Ponderabeles so ge- ıt werden, dass keines von beiden das Übergewicht behält, dass auch die Verbindung dieser beiden Urstoffe am energischsten Demnach kann man sagen, dass das Bestreben der Natur dieses ıild vor allen anderen Arten erzeugen würde, wenn die egenheit zur Erzeugung des Urbildes oder anderer en gegeben wäre. Man müsste hiernach vermuthen, dass wo haupt zur Bildung edler Metalle die äussere Gelegenheit gegeben ;, wie es bei der Bildung unseres Erdkörpers der Fall war, diese in wiegender Masse entstanden seien. Wo finden wir dieselben? ft das spärliche Vorkommen des Silbers, des Goldes und des Platins Vermuthung nicht Lügen? O nein, die Erdrinde birgt diese Me- allerdings nur in geringen Quantitäten; allein die Astronomie hat es rgestellt, dass der Erdkern nothwendig von spezifisch schweren Körpern erfüllt sein muss, es ist daher sehr scheinlich, dass sich hier die edelen Metalle angehäuft haben und sich darunter Elemente befinden, welche dem Urbilde noch näher n, als die uns bekannten edelen Metalle.

Im Pflanzen- und Thierreiche haben wir das Urbild wieder den Grundarten zu suchen. Vorläufig kennen wir diese Grund- aber noch gar nicht; die Prüfung ist also noch nicht ausführbar.

Wendet man unsere Argumentation auf die Urbilder der ver- edenen Reiche an; so ist nicht die Wahlverwandtschaft, rn die Freundschaft der Systeme (No. 3), welche von dem en Systeme assimilirt werden, als entscheidendes Merkmal ins zu fassen, indem auf dieser Freundschaft die Assimilationsbegierde öheren Systems beruht. Das chemische Element assimilirt die Ur- mit grösserer Energie oder Begierde, als die Pflanze die Mineralien, lie Pflanze assimilirt wieder energischer das Mineral als das Thier vegetabilischen Stoff. Demzufolge sind die Verbindungen der ertheile im chemischen Elemente am stärksten, in der Pflanze schwä- ınd im Thiere am schwächsten.

Hiernach müsste man also den Urbildern der höheren Na- eiche eine gewisse Vorzüglichkeit oder höhere Rang- e vor den Urbildern der niedrigeren Reiche einräu-

3. **Urkomplex.** Die in vorstehender Nummer als Urtypen kterisirten Grundarten der einzelnen Naturreiche rechtfertigen ihren n nur in der Hinsicht, dass sie der Intensität oder der Stärke verwandtschaftlichen Neigungen der Stoffe ein volles Genüge thun. deal eines solchen Urtypus ist daher ein Geschöpf, welches zu an- Grundarten desselben Reiches gar keine Verwandtschaft hat emzufolge seine Selbstständigkeit in vollstem Maasse aufrecht , indem es sich mit keiner andern Art verbindet oder kreuzt.

Venn nun ein solcher Urtypus dem natürlichen Streben der Grund- aus welchen er besteht, in Hinsicht der Intensität Genüge leistet;

so lässt er auf der anderen Seite dieses Naturbestreben in der Hinsic unerfüllt, dass er nur eine einzige der Neigungen der Grundstoffe erfül nämlich diejenige, welche sich mit der grössten Intensität gelte macht. Dieselben Grundstoffe haben aber verschiedene Neigung oder das Bestreben, sich mit verschiedenen Stoffen zu verbind und dadurch verschiedene Eigenschaften anzunehmen. Die gan Summe dieser Mannichfaltigkeit von Neigungen kömmt nun, we der Urtypus sich erzeugt, nicht zur Geltung: das Naturbestreb ist daher keineswegs in absoluter Beziehung durch den Urtypus b friedigt.

Die Befriedigung des Naturbestrebens in der zweiten soeben besp chenen Hinsicht, nämlich die gleichzeitige Befriedigung aller mö lichen verschiedenen Neigungen der Grundstoffe führt nun Bildungen, welche dem Urtypus direkt widersprechen, nämlich möglichst komplizirten Systemen oder Verbindungen v Grundarten. Aus diesem Bestreben entspringen also die übereina derstehenden Ordnungen jedes einzelnen Naturreiches, welche imm mannichfaltiger zusammengesetzte Verbindungen der Grun arten enthalten. Aus diesem Bestreben entspringen ferner die höher Naturreiche aus den niedrigeren, da hierzu Komplikation d Grundsysteme erforderlich ist.

Dass die höhere Grundkraft der Materie sich in der That erst b einer gewissen Komplikation der Grundsysteme entfaltet, ist eine Tha sache. Die vegetabilischen Stoffe sind in chemischer Hinsic ungleich komplizirter, ja in einem so hohen Maasse komplizirt, dass d Chemie noch nicht das Verständniss dafür gefunden hat. Die Pflanze zelle stellt also ein ungleich komplizirteres Mineralsyste dar, wie jedes Mineral: ebenso klar ist aber auch, dass ein anim lischer Organismus ein ungleich komplizirteres vegetabil sches System, wie jede Pflanze darstellt. Aus dieser Thatsac schliessen wir auf die naturgesetzliche Nothwendigkeit, dass das höhe Naturreich die Komplikation der Zusammensetzung des nächst niedrigere Reiches erfordert. Ausserdem aber ziehen wir hieraus den Schluss, da die Komplikation der Zusammensetzung eines Reiches de natürliche Weg zur Entfaltung des nächst höheren Reiches is sodass dieses Reich mit Nothwendigkeit aus dieser Komplika tion entstehen muss. Zur Verhütung von Missverständnissen ist übri gens zu bemerken, dass diese Komplikation der Zusammensetzungen ein Reiches nicht etwa als ein Akt der Zeit oder der allmählichen Ve bindung der lebenden Arten anzusehen ist. Eine zusammeng setzte Verbindung kann so gut wie eine Grundart unmittelbar au dem Schöpfungsakte hervorgehen; ja es können Zusammensetzu gen entstehen und leben, ohne dass die Grundarten isolirt entstand sind und isolirt leben.

Urtypen zu bilden ist hiernach durchaus nicht ein Endzweck de allgemeinen Naturlebens. Im Gegentheil, die Bildung von Urtyp hindert die höhere Entfaltung der Materie. Denken wir u bei der Erzeugung der Elemente sei allenthalben oder doch in überwi gendem Maasse die intensivste Neigung zwischen Äther und Pond

lem zur Wirkung gekommen (was nur von der Vertheilung oder ıtigkeit des Ponderabelen in der Äthermasse abhing); so wäre die ung von zusammengesetzten Mineralien unmöglich, resp. nur in ngem Maasse möglich geworden: es hätte sich also auch kein Pflanreich und noch weniger ein Thierreich entfalten können.

Das Bestreben der Natur hat also zwei Hauptrichtungen und sich demnach in diesen beiden Richtungen befriedigen. Diese bei- Richtungen betreffen die Stärke und die Mannichfaltigkeit Verbindung. Die Stärke der Verbindung führt zu Verwandtschafts-keit, Selbstständigkeit, Festigkeit, Unvergänglichkeit: die Mannich-igkeit dagegen führt zu Vielseitigkeit der Eigenschaften, Entfaltung der ndkräfte, Erhöhung der Geschöpfe. Die Befriedigung des Naturbestre- in der ersteren Richtung erzeugt den Urtypus; die Befriedigung Naturbestrebens in der letzteren Richtung schafft Bildungen, deren ste Stufe wir den Urkomplex nennen wollen. Ein Urkomplex rakterisirt sich dadurch, dass sich in ihm die nächst ere Grundkraft entfaltet, dass er also zugleich das trittsglied oder eine Grundart des nächst höheren Na-reiches ist. Ein Urkomplex ist also immer ein Haupt-em, während ein Urtypus stets ein Grundsystem ist (No. 3).

Man sieht, diese beiden Bestrebungen der Natur schliessen sich nder aus. Einen Urtypus, von welchem die Naturphilosophie mte, giebt es daher schlechterdings nicht: er ist eine Unmög-lkeit, ein Widerspruch gegen die Prinzipien der Natur-tigkeit.

7. **Das Natursystem.** Im Übrigen leiten uns die vorstehenden iffe noch zu folgender interessanten Betrachtung. Das Streben nach Urkomplexe erzeugt in jedem Naturreiche die aufeinander ge-en Ordnungen. Jedes Reich beginnt mit einer Ordnung Grundarten oder Elemente, welche wir die Grundordnung en wollen. Hierauf folgt die erste Ordnung der Verbindungen, ne Verbindungen von je zwei Grundarten enthält (für das Mineralreich en, Oxyde u. s. w.); alsdann folgt die zweite Ordnung, welche indungen von je zwei Arten erster Ordnung enthält (für das Mineral- Salze u. s. w.); hierauf folgt die dritte Ordnung (für das Mineral- Doppelsalze u. s. w.) und so fort.

Ich bin nämlich der Ansicht, dass in allen Reichen die eigent- auf Wahlverwandtschaft beruhenden oder Hauptverbindungen, d. h. nigen Verbindungen, welche neue Haupteigenschaften erzeu- binäre sind, d. h. aus zwei Arten der nächst vorhergehen- Ordnung bestehen. Diess schliesst die Möglichkeit der Erzeugung ärer und überhaupt metaleptischer, ja überhaupt der kom-irtesten Verbindungen nicht aus: allein wir müssen annehmen, dass u die in jenem Reiche herrschenden Grundkräfte nicht ichen, dass dazu vielmehr die Mitwirkung höherer Grundkräfte derlich ist. Demnach können metaleptische Mineralien im nzen- und Thierreiche entstehen (in §. 65 No. 11 haben wir den Sehnervenprozess auf die Annahme metaleptischer Verbindungen

gestützt). Ebenso können und werden im Thierreiche metaleptisch und komplizirtere Verbindungen von Vegetationssystemen vorkommen.

Aus jeder Ordnung eines jeden Reiches entspringt noch ein stetiger Fluss von Mischungen oder Legirungen. Eine Mischung ist eine innige Verbindung zweier formverwandten Systeme (No. 3), welche zwar die Haupteigenschaften der beiden Systeme gemeinschaftlich, daneben aber gewisse neue Nebeneigenschaften besitzt, und deren Energie von der Art ist, dass sie nicht bloss unter singulären, sondern unter den gewöhnlichen Lebensbedingungen der gemischten Systeme (z. B. bei gewöhnlicher Temperatur) haltbar ist (vergl. No. 3). Im Allgemeinen mischen sich nur Arten derselben Ordnung, z. B. nur chemische Elemente. Die Mischungsfähigkeit ist übrigens durchaus nicht jeden zwei beliebigen Arten eigen; so mischt sich nicht Eisen mit Blei, nicht Wasser mit Öl, nicht Wasser mit Blei (obwohl mit Bleioxyd) u. s. w.; sie setzt also ein gewisses Verwandtschaftsverhältniss voraus, welches wir in No. 3 Formverwandtschaft genannt haben. Wo dieses Verhältniss vorhanden ist, ist das Mischungsverhältniss im Allgemeinen unbegrenzt, wie zwischen Kupfer und Zink. Ausserdem sind manche Arten zu je drei, manche zu je vier u. s. w. mischbar. Man sieht hiernach, in welcher Weise aus einzelnen Gliedern der Ordnungen eines Naturreiches, welche bald paarweise, bald zu dreien u. s. w. zusammengehören, ein von jenen Ordnungen unabhängiger Strom stetiger Mischungsverhältnisse oder Mischarten sich ergiesst; ein solcher Strom ist an bestimmte Gruppen dieses Reiches gefesselt und bildet ein Zubehör dazu oder eine stetige Verbindungslinie zwischen den einzelnen Gliedern einer solchen Gruppe. Die Ordnungen stellen immer das Gerüst des Reiches dar. Die Möglichkeit einer Mischart ist an die Bedingung der Formverwandtschaft gebunden und eine Mischart unterscheidet sich von einer zusammengesetzten Art dadurch, dass sie die Haupteigenschaften der Bestandtheile nicht in neue verwandelt, sondern dieselben nur vereinigt, also eine Vermittlung zwischen jenen Bestandtheilen darstellt, daneben aber gewisse neue Nebeneigenschaften annimmt (vergl. No. 4).

Jede Ordnung hat ihren Urtypus: der der Grundordnung angehörige ist der Urtypus für das betreffende ganze Naturreich.

Die oberen Ordnungen enthalten die Urkomplexe. Diese Urkomplexe sind zugleich die Anfangsglieder oder Grundarten des nächst höheren Naturreiches.

Die Grundarten des nächst höheren Reiches stammen also aus verschiedenen Ordnungen des vorhergehenden Reiches, und es entsteht die wichtige Frage, ob der Urtypus des höheren Reiches zugleich der Urkomplex des vorhergehenden Reiches sei. Diese Frage ist entschieden zu bejahen: denn in der höchsten Ordnung eines Reiches kann nur ein einziges Glied stehen, da der Begriff von höchster Mannichfaltigkeit das Vorhandensein

möglicherweise zu vereinigenden Eigenschaften, also ein Geschöpf einziger Art bedingt. Enthält aber diese Ordnung nur eine ein- Art; so kann dieselbe zu keiner anderen Wahlverwandt- ft haben, weil nur Arten derselben Ordnung Wahlverwandt- ft zueinander haben (Verbindungen von Arten aus verschiedenen ungen sind mit Trennungen verbunden, sodass direkt immer nur von derselben Ordnung ihre verwandtschaftliche Neigung ausüben; ber das Vorkommen von metaleptischen und komplizirteren Ver- ngen betrifft; so sind dieselben keine Erzeugnisse der Grundkräfte des ffenden Reiches, sondern eines höheren Reiches, vergl. No. 3). en Fällen ist die einzige Art der höchsten Ordnung nicht im Stande, Verwandtschaft mit irgend einer anderen Art zu bethätigen, da se Bethätigung zu einer noch höheren Verbindung, also zu einer höheren Ordnung führen würde, was der Voraussetzung wider- ht, da wir von der höchsten Ordnung des betreffenden Reiches ..

Hat nun aber eine Art keine verwandtschaftliche Neigung; so ist sie No. 5 nicht bloss in ihrer Ordnung der Urtypus, sondern es et auch ein, dass wenn man alle Urkomplexe aus den verschie- n Ordnungen zusammenstellt, wodurch sich die Reihe der Grund- des nächst höheren Reiches ergiebt, der aus der höchsten ung des vorhergehenden Reiches stammende Urkomplex wegen seiner ndtschaftslosigkeit zugleich der Urtypus in dieser Grund- des nächst höheren Reiches sein muss.

Folgt nun hieraus, dass das Streben der Natur nach dem Urtypus em Streben nach dem Urkomplexe zusammenfällt, dass sich unserer früheren Deduktion zuwider, beide Bestrebungen zu einem gen Grundbestreben vereinigen? Keineswegs! Denn man wohl beachten, dass das eben bezeichnete Geschöpf nicht gleichzeitig pus und Urkomplex für dasselbe Reich, sondern dass das- gleichzeitig Urtypus für das höhere Reich und Urkomplex s niedrigere Reich ist, ferner dass dasselbe keineswegs eine entwicklung des Urtypus aus dem niedrigeren Reiche ist, ielmehr zur Bildung jenes höheren Urtypus eine grosse Menge, cht alle Grundarten des niedrigeren Reiches konkurriren n, dass also das Bestreben zur Bildung des Urtypus im niedri- n Reiche das Bestreben zur Bildung des Urkomplexes in dem- n Reiche oder des Urtypus in dem höheren Reiche aus- esst.

Demgemäss erscheint der Urtypus und der Urkomplex desselben nes auch stofflich sehr verschieden. Im Mineralreiche mag old oder Platin dem Urtypus nahe stehen, jedenfalls liegt der Ur- nach der Seite der edlen Metalle hinaus: alle Urkomplexe da- aus welchen die Grundarten des Pflanzenreiches entsprin- nd namentlich derjenige Urkomplex, aus welchem der Urtypus Pflanzenreiches hervorgeht, ist eine sehr kohlenstoffreiche dung. Ebenso muss der Urkomplex des Pflanzenreiches, aus wel- er Urtypus des Thierreiches hervorgeht, eine Kombination von vege- hen Grundarten sein, welche von dem Urtypus des Pflanzenreiches

ziemlich entfernt liegen. Letzteres lässt sich aus dem Umstande schliess dass alle Thiere einen mineralischen Stoff, den Stickstoff in gross Menge besitzen, welcher in den lebenden Pflanzen nur schwach ve treten ist.

Nach Vorstehendem ist es im höchsten Grade bewunderungswürdi wie die Natur dadurch und nur dadurch, dass sie entgegengesetz oder widersprechende Thätigkeiten befolgt, periodisch zur Verein gung der Urtypen und Urkomplexe, wennauch für verschieden Reiche, zurückkehrt und hierdurch eine fortschreitende Vol endung ermöglicht.

Was nun hiernach den Standpunkt des Menschen in der Nat betrifft; so kann man allgemein nur annehmen, dass sich im Menschen geschlechte mehrere Glieder oder Arten einer höheren Or nung des Thierreiches darstellen. In dieser Stellung erscheint je wirkliche Menschenrace als eine besondere Art derselben Ordnun Dass man alle Menschenracen einundderselben Ordnung zuzählen mus ist wegen ihrer gegenseitigen, durch Begattungsfähigkeit sich d kumentirenden Formverwandtschaft ganz unerlässlich (No. 10 u. 1 Dass man diese Racen aber nicht als Grundarten ansprechen darf, da man sie also in eine höhere Ordnung stellen muss, erscheint mir w gen der Komplizirtheit und höheren Vollendung der animalisch Eigenschaften in der Menschheit ebenso unabweislich. Nur darüber kön ten die Zweifel schwieriger sein, ob alle Menschenracen einer einzige Art in dieser Ordnung oder mehreren Arten angehören, ob also d Verschiedenheiten jener Racen und Völkerschaften auf Varietäten in de Entwicklung einer einzigen Art oder in wirklicher Verschieden artigkeit beruhen. In Betracht der Thierähnlichkeit oder de Thierischen, welches sich in manchen Menschentypen ausprägt, könnt man wohl vermuthen, dass nicht bloss Variation in der Entwicklun derselben Art, sondern wirkliche Verschiedenartigkeit der Grun der Verschiedenheit der Hauptracen des Menschengeschlechtes sei: e wägt man jedoch, dass gleiche Bestandtheile in zwei verschiedenen zusam mengesetzten Arten prinzipiell keine äussere Ähnlichkeit dies Arten bedingen, dass ferner manche uns wesentlich erscheinenden Unte schiede der Menschenracen lediglich auf äusseren Verhältnissen, wie Klim Nahrung, Lebensweise beruhen und sich damit modifiziren, endlich da das Thierische auch häufig in einzelnen Individuen derselben Race herv tritt; so muss man den Schluss ziehen, dass dem Menschengeschlechte do nur eine einzige Art, freilich eine aus mehreren Grundarten des Thie reiches zusammengesetzte Art, also eine Art höherer Ordnun innewohnt.

Für den Hauptzweck unserer Untersuchung wäre es übrigens irrelevan wenn auch das Menschengeschlecht mehrere Arten enthielte. Jede falls müssten dieselben unter sich formverwandt sein, weil sie si kreuzen oder mischen, und jedenfalls würden sie mit keiner ande Thierart formverwandt sein, weil sich kein Mensch mit eine Thiere kreuzt (No. 10 und 11).

Nach Vorstehendem stellt sich uns der Mensch als ein

gewissen animalischen Grundarten zusammengesetzte Art er Formel $\Sigma A^a V^b G^c$ dar.

In Bezug auf die Mannichfaltigkeit der Arten in den verschiedenen :rreichen ist noch hervorzuheben, dass in der Formel A^a für das mische Element nur die eine Grösse a variabel ist (wennauch elben Werthe von a verschiedene Grundarten entsprechen, indem $= \ddot{A}_m P_n$ ist). In der Formel $A^a V^b$ für die Grundarten des Pflanreiches sind zwei Grössen a und b variabel und in der Formel $^b G^c$ für die Grundarten des Thierreiches deren drei a, b, c.

Hieraus folgt, dass die möglichen Grundarten des Pflanzenreiches zahlreicher sind, als die des Mineralreiches und die des Thierreiches er viel zahlreicher als die des Pflanzenreiches. Nähme, um die Geıtzahl aller möglichen Grundarten der drei Reiche darzustellen, b c nahezu ebenso viel besondere Werthe an, wie a; so würde, wenn n Anzahl der möglichen chemischen Elemente bezeichnet, die Ander vegetabilischen Grundarten $= n^2$ und die der animahen Grundarten $= n^3$ sein. Gäbe es z. B. $n = 60$ chemische ente; so würde es bei der vorstehenden Annahme 3600 Grundarten Pflanzenreiches und 216000 Grundarten des Thierreiches geben. Obh diese Zahlen auf keine Richtigkeit Anspruch erheben; so veranılichen sie doch ungefähr den Grad der Vermehrung der möglichen darten in den drei Naturreichen.

Der mit der Höhe des Naturreiches immer mehr wachsende hthum der Grundarten erscheint hiernach als der Ausfluss s einfachen Gesetzes. Dasselbe gilt auch von der Gentzahl aller Arten (der einfachen und der zusammengeten) in den höheren Naturreichen. In dem Maasse aber wie Reichthum der Arten eines Reiches wächst, muss offenbar Verschiedenheit der benachbarten Arten und Ordnungen, ı man dieselben nur nach einer bestimmten Eigenschaft, nach der äusseren Gestalt beurtheilt, immer geringer wer- Es kann demnach nicht befremden, dass manche Thiern, z. B. die Affen, mit dem Menschen in manchen Stücken äussere Ähnlichkeit haben. Aus dieser Ähnlichkeit zwin dem Körperbau mancher Affen und mancher Menschen ithin durchaus kein Schluss auf Verwandtschaft oder Geschaftlichkeit in gewissen Grundarten, noch weniger auf chartigkeit zu machen.

In vielen Haupteigenschaften stehen sich alle edlen Metalle nahe, wenn man diese Eigenschaften mit denen in Parallele stellen will, e das Wesen des Menschen ausmachen; so kann man sich vorstellen, dlen Metalle seien unter den chemischen Elementen Das, was die chen unter den Thieren sind. Manche jener edlen Metalle nähern aber wiederum in besonderen Eigenschaften einigen der unedlen lle, welche die Affen des Mineralreiches vertreten mögen. Beet man nun bloss die letzteren besonderen Eigenschaften; so haben llen Metalle Ähnlichkeit mit den unedlen. Trotz aller dieser partield generellen Ähnlichkeiten einzelner Klassen von chemischen Elen bleibt indessen jedes Element ein selbstständiger, eigenartiger

Körper, und liegt die Verwandtschaft (Affinität) zwisch zweien nicht in dem Systeme der Grundkräfte; so ist je äussere Ähnlichkeit durchaus kein Motiv, diese Verwand schaft zu behaupten.

8. Metamorphose. Das naturgesetzliche System, welches Grundlage einer Geschöpfart ausmacht, ist ein Inbegriff bestimmt Kräfte. Ein solches System entwickelt, indem seine Kräfte ihren G setzen folgen, eine Thätigkeit. Diese Thätigkeit ist bedingt du die Wechselwirkung mit der Aussenwelt. Selbst wenn nun in diese Systeme die Kräfte und Stoffe ganz unveränderlich blieben; so ände sich doch die Zeit und damit die Anordnung oder Form jener Sto das System zeigt sich also, obgleich dasselbe in seinem Grundwes ganz unwandelbar ist, in jedem Zeitmomente in einem anderen Z stande oder bietet eine andere Erscheinung dar.

Vergegenwärtigen wir uns irgend ein beliebiges System, selbst e rein mechanisches, z. B. das Sonnensystem. Dasselbe ist in sein Kräften und Massen oder Stoffen genau gegeben: gleichwohl bietet nicht immer dieselbe Erscheinung dar. In Folge der Thätigkeit sein Kräfte nehmen die einzelnen Massen mit dem Wechsel der Zeit imm andere Stellungen, Richtungen und Geschwindigkeiten an: dieErsche nung wechselt also fortwährend, obwohl das System unve ändert bleibt.

Mit unseren Sinnen erkennen wir nur den äusseren und au nur den augenblicklichen Zustand, eine Erscheinung des S stems, nicht das Grundwesen des Systems selbst. Wie wäre es mö lich, die Anziehungskräfte und ihr Gesetz zu sehen, welche das Sonne system konstituiren! Das Grundwesen eines Systems ist also gar ke sinnenfälliger Gegenstand: dasselbe kann nur durch Abstraktio festgestellt werden. Aber diese Abstraktion kann nicht aus einem auge blicklichen Zustande gewonnen werden: denn das Wesen von Kräft ist Arbeit oder Thätigkeit, und diese entwickelt sich nur in der Ze Aus der einmaligen Beobachtung der gegenseitigen Stellung der Körp des Sonnensystems liesse sich durchaus kein Schluss auf ihre ferne Bewegung, also auch nicht auf das in ihm lebende System von Krä ten machen.

Das Grundwesen eines Systems oder einer Art kann hiernach nur au der Totalität seiner Zustände und Wirkungen, also aus der voll ständigen Reihe seiner Lebenserscheinungen geschlossen werde

Wenden wir diese Prinzipien auf die Geschöpfe an und beginne wir bei den chemischen Elementen. Ein solches Element ist eine quantitativer Hinsicht fest bestimmte Verbindung von Äther und Po derabelem: allein in Beziehung auf Anordnung und Beweglichke der unendlich kleinsten Theilchen des zu einem Moleküle verbunden Äthers und Ponderabelen kann noch die grösste Mannichfaltigke herrschen. Auf dieser Mannichfaltigkeit, also auf der formellen Verbi dung des Äthers mit dem Ponderabelen zu einem Moleküle beruht de Aggregatzustand: das Element kann gasförmig, flüssig und sta erscheinen. Wie erheblich für die Sinne ist diese Metamorphose vo

Leffler. Die physiologische Optik.

ischem Gase zu tropfbarer Flüssigkeit und zu krystalli-
m starrem Körper! Wie vermöchte das Auge in diesen ver-
enen Erscheinungen dasselbe System zu erkennen! Auf derselben
len Verbindung des Äthers mit dem Ponderabelen beruht die Ver-
enheit des Gefüges oder der Krystallisation desselben Elemen-
berhaupt der Polymorphismus. Demzufolge vermag Kohlenstoff
orpher Russ, als Graphit in sechsseitigen Tafeln, als Diamant
aëdrischen Krystallen zu erscheinen, dasselbe System scheinbar
nz andere Art.

Was von den chemischen Elementen oder Grundarten des Mi-
reiches gesagt ist, gilt auch von den zusammengesetzten und
arten oder den Mineralien überhaupt. Dieselbe Art erscheint
nst, als Wasser, als Eis. Der kohlensaure Kalk tritt auf als Kalk-
und als Arragonit.

m Pflanzenreiche wiederholen sich aber dieselben Erscheinungen.
uss nur, um dieselben zu erkennen, beachten, dass nicht die Pflanze
er Totalität, sondern die Zelle es ist, welche das System dar-
Die Pflanze ist nur ein Aggregat von Zellen: das Grund-
des Vegetationssystems liegt nicht in diesem Aggregate, sondern
konstituirenden Zelle. In wie mannichfaltiger Form erscheint
inunddasselbe System in den verschiedenen Zellen. Die Ver-
nheit der Zellen lässt sich zwar nicht mit blossem Auge un-
bar, wohl aber an der Gesammterscheinung mehrerer gleichen
z. B. an der Weise erkennen, wie die verschiedenen
sich aneinanderreihen: denn diese Aneinanderreihung
rch die Beschaffenheit der Zellen genau ebenso bedingt,
e Form des mineralischen Krystalls durch die Struktur
oleküls. Diese Struktur des Moleküls im Mineral lässt sich
s nicht unmittelbar erkennen, sondern nur aus der Form der
menhäufung, d. h. aus der Krystallform schliessen. Ganz
erkennen wir an der Form, Farbe und sonstigen Beschaf-
t der Wurzel, des Holzes, des Splintes, der Rinde, des
s, der Blüthe, der Frucht, des Samens, dass sich hier ver-
ene Zellen angehäuft haben. Alle diese Zellen, oder wenn
ll, die Wurzel, das Holz, der Splint, die Rinde, das Blatt,
üthe, die Frucht, der Samen stellen einunddasselbe Ve-
onssystem, einunddieselbe Pflanzenart nur in verschie-
Zuständen oder als verschiedene Metamorphosen des-
Vegetationssystems dar.

ter einer Metamorphose oder Umwandlung wollen wir nun
änderung verstehen, welche ein Geschöpf annimmt, um in einen
Beharrungszustand zu gelangen, sobald der frühere durch den
besonderer Umstände unhaltbar geworden ist (No. 9).

r das Mineralreich ist die Zeit der Lebensthätigkeit auf dem
Schauplatze der Natur schon lange vorüber oder wohnt doch
h in dem verborgenen flüssigen Erdkerne. Denn die eigentliche
hätigkeit des Urreiches, d. h. des Reiches der Urstoffe Äther
nderabeles, bedingt den gasförmigen und die normale Lebens-
it des Mineralreiches den flüssigen Zustand, also eine hohe

Temperatur. Die Erstarrung der Erdrinde war der direkte Schritt z Tode des Mineralreiches: ein erstarrtes Mineral kann keine Affi tät äussern; die Felsen sind die gereiften Früchte des Mineralreic welche sich in Leichen zu verwandeln beginnen; sie verwittern und stieben wie jeder gestorbene Leib, in welchem die oberste Grundkr ihrer Thätigkeit entrückt, also zur Erhaltung des Systems u fähig gemacht ist.

Aus diesem Grunde kann man von den erstarrten Mineral keine Metamorphosen erwarten; solche Verwandlungen kommen noch bei künstlicher Behandlung, z. B. durch ungewöhnliche E wirkung von Wärme oder nach vorgängiger Auflösung vor.

Wegen der Möglichkeit der Wiederbelebung des Mine reiches ist es übrigens passender, den Zustand der Erstarrung mit Schlafe zu vergleichen, wiewohl aus diesem Zustande durch die dau den Angriffe des Äthers die wirkliche Verflüchtigung oder der wa Tod unmittelbar hervorgeht.

Das Pflanzenreich befindet sich noch in seiner Lebensperi und zeigt demzufolge zahlreiche Metamorphosen. Die allmählic Umwandlungen, welche eine Zelle erleidet, indem sie von der Wurzelz zur Reis-, Blatt-, Blüthen- und Fruchtzelle wird, stellen den Verlauf di Metamorphosen dar. In jedem Stadium bleibt aber eine gewisse An von Zellen dauernd zurück und stirbt ab, indem die eigentliche getationskraft in ihr nicht mehr zu wirken vermag. Der Kulminatio punkt vor dem Tode ist die Reife. Von den sterbenden und ges benen Zellen bleiben manche eine kürzere und längere Zeit an dem I per der Gesammtpflanze haften, ehe sie zerstieben. So ist der H stamm, d. h. die unter dem Splinte liegende Holzmasse, Splint, das Reis, das Blatt, die Blüthe, die Frucht je nach Zeit des Stadiums der betreffenden Metamorphose nichts deres, als der gereifte, der sterbende und der gestorbene Pfl zenorganismus in der betreffenden Metamorphose. Ein je dieser fertigen Theile ist einem erstarrten Minerale, die Blüthe ei Krystalle, das Holzgerüst des Baumes einem Felsen des Mineralreiches vergleichen.

Dass ein Geschöpf in einem anderen Zustande andere Lebensthä keiten äussert, ist sehr begreiflich: die Wurzel nimmt andere Stoffe als das Blatt und andere als die Zelle im Splinte. Die Wurzelzelle z sie aus der Erde, die Blattzelle aus der Luft, die Splintzelle aus Pflanzensafte. Dass auch in einem Aggregate die einzelnen Theil ihrer chemischen, in ihrer physikalischen, in ihrer formbildenden und getativen Thätigkeit sich beeinflussen und dass aus dieser Beeinfluss ein gemeinschaftliches Getriebe in das ganze Aggregat kom muss, sodass also z. B. durch die Gesammtpflanze eine gewisse Sä zirkulation erzeugt wird, dass die Beschädigung eines Theiles rück kend sich auf alle äussert, dass sich die verschiedenen Zellen in besti ten Formen zu Blättern, Blüthen, Früchten, ähnlich den mineralis Molekülen zu Krystallen aneinanderreihen und dass einzelne Hau theile der Gesammtpflanze, d. h. einzelne Gruppen gleichartig Zellen, wie z. B. die Wurzeln, der Stamm, die Rinde, die Blätter,

ıen u. s. w. besondere Gesammtthätigkeiten äussern, sodass z. B. ine Gruppe diese, die andere jene Stoffe aufsaugt, ausstösst, verwen- .. s. w., ist ebenfalls einleuchtend. Dessenungeachtet bleibt doch die ıze nur eine Zusammenhäufung von Zellen, sie wird kein selbst- ıdiger, einheitlicher Organismus; die Einzelstelle ist es, lhe das vegetabilische System darstellt. Demnach treibt und ein Baum, wird befruchtet und trägt Früchte, Alles zu gleicher demnach lässt er sich veranlassen, bald hier, bald dort ein Reis zu en, ein Blatt, eine Blüthe anzusetzen, auch wohl statt des Holzreises ragreis und umgekehrt zu bilden. Diese scheinbare Ungezwungen- und Unbestimmtheit und diese Gleichzeitigkeit verschiedenartiger sse erklärt sich, wenn man die Pflanze nicht als einen einheit- n Organismus, sondern als eine Vielheit von selbstständigen nismen, welche sich nach gewissen Regeln zusammenreihen, ansieht.

Im Thierreiche bieten sich uns die auf gleichen Prinzipien beru- en Erscheinungen dar. Während jedoch an der Pflanze, da sie nur Vielheit von selbstständigen vegetabilischen Systemen (Zellen) ist, hzeitig dasselbe System in verschiedenen Metamorphosen Zelle gleichzeitig als Wurzel-, Splint-, Blatt-, Blüthenzelle u. s. w.) Erscheinung kömmt, kann das Thier, da dasselbe als geistiges höpf nur durch die gemeinschaftliche, einheitliche Thätig- der Gesammtheit aller seiner Zellen existirt, nur Metamor- en seines Gesammtkörpers darbieten.

Im Thiere ist daher stets der Gesammtkörper in gemein- ftlicher Thätigkeit, sei es in Umbildung oder einfacher it begriffen. Jedes Organ zieht das andere in entspre- de Mitthätigkeit, weil durch die Thätigkeit jedes einzel- Organs das Gesammtsystem affizirt wird und der Zustand Gesammtsystems den Zustand des Geistes bedingt. Hiermit türlich nicht gesagt, dass alle Organe mit gleicher Stärke oder in er Richtung thätig seien; es ist vielmehr sehr wohl möglich, dass Thätigkeit der einzelnen Organe sehr ungleichmässig folgt; r aber sind die Thätigkeiten aller Organe durch ein Ge- das Gesetz des Geistes, miteinander verbunden.

Hiernach unterscheidet sich sehr das Wachsthum des Thieres von der Pflanze. An der Pflanze wachsen immer nur einzelne Theile eine gewisse nebensächliche Rückwirkung auf die benachbarten nicht hliesst) und in diesem Wachsthume herrscht eine gewisse Unbe- mtheit: am Thiere wächst stets der ganze Körper und zwar nach festen Einheitsgesetze.

Alle Metamorphosen ergreifen den Gesammtkörper des Thieres. ein Glied des Körpers abgetrennt oder auch nur beschädigt konstituirt sich der Gesammtkörper aufs neue; er sucht unter den gegebenen Umständen möglichen, seinem geisti- Einheitsprinzipe entsprechenden Beharrungszustand (No. 9). wird allerdings die Umbildung des beschädigten Gliedes am erheb- n sein: allein dessenungeachtet nimmt der ganze Körper daran Bei der Pflanze modifizirt die Beschädigung einer Zelle nur die gkeit dieser Zelle und die Beschädigung einer Gruppe von gleich-

artigen Zellen, z. B. eines Blattes oder Zweiges, nur die Spezialthätigk dieser Gruppe. Vermöge der Rückwirkung auf die benachbart Zellen kann eine solche partielle Metamorphose zwar grössere The der Pflanze beeinflussen: indessen ist diese Beeinflussung keine von ein obersten Prinzipe für die Gesammtpflanze geleitete.

Die ganze Entwicklung eines Thieres ist eine stetige Reihenfol von Metamorphosen oder eine fortgesetzte Metamorphose. In späteren St dien springen die Veränderungen bei den meisten Thierarten nicht se in die Augen: in den Anfangsstadien, bei der Entstehung des Embryo u Entwicklung desselben aus dem Zustande des Eies sind sie jedoch imm sehr erheblich.

Bei manchen Thierarten kommen sehr auffallende periodische M tamorphosen vor. Das Ei, die Raupe, die Larve, der Schme terling sind Metamorphosen derselben Thierart. Wie verschied in der Erscheinung zeigt sich hier einunddasselbe System oder ei unddieselbe Thierart! Wie wäre es wohl möglich, in der äusser Erscheinung irgend eines dieser Zustände das System zu erkennen!

Wir sehen also, das System, die Art ist kein fertiger, abg schlossener Zustand der Ruhe, und das Grundwesen der Art, d eigentliche System von Naturkräften, auf welchen die Art beru stellt sich überhaupt nicht den Sinnen dar. Das einer Art, einem S steme angehörige Geschöpf ist die Verwirklichung jenes System diese Verwirklichung stellt sich nicht als eine einzelne, sondern als ei Reihe von Erscheinungen in Formen, Erscheinungen und Th tigkeiten dar. Die Art kann daher nur aus der Totalität aller mö lichen Erscheinungen oder Metamorphosen, welche die Thätigke des Systems zu erzeugen fähig ist, d. h. aus dem ganzen Lebenslau der Lebensweise und den Fähigkeiten eines Geschöpfes abstrah werden. Die isolirten und momentanen Erscheinungen einun desselben Systems können im höchsten Grade verschieden ausfall sodass äussere Verschiedenheit einzelner Zustände durchaus nic den Schluss auf Verschiedenheit der Art und äussere Ähnlichk einzelner Zustände durchaus nicht den Schluss auf Gleichheit d Art rechtfertigt.

Übrigens hebe ich schliesslich noch hervor, dass es sich bei der M tamorphose nicht um die Veränderung des Systems, sondern um d Veränderung des Geschöpfes oder der Erscheinung des Systems Folge äusserer Einwirkungen handelt, dass also bei der Metam phose das System selbst ganz ungeändert bleibt. Demzufolge ist ch mische Trennung und Verbindung, überhaupt Zerlegung ein Kompositions- und Mischsystemes oder Zusammensetzung u Mischung von Systemen kein Akt der Metamorphose, sondern d Schöpfung, resp. der Zeugung oder des Zerfalles, weil sich hierb ganz andere Systeme bilden.

9. Beharrungszustand und Normalzustand. Die Verwi lichung eines Systems geschieht durch Materie: die Materie ist ab nach ihrer thatsächlichen Beschaffenheit nicht absolut vollkommen, d. sie realisirt durch ihre Grundkräfte die idealen Gesetze, welche ihr pl

ssig zukommen sollten, nicht in aller Schärfe. Es giebt keinen ganz ogenen Körper, es giebt keine völlig gerade Linie, keine völlig ebene che, keine vollkommen gleichförmige Bewegung, keinen widerstands- n Raum, keine absolut glatte Fläche, keine vollkommene Realisirung kosmetischen Gesetze hinsichtlich der Quantitätsverhältnisse der zu bindenden Massen bei der Vereinigung des Äthers mit Ponderabelem den chemischen Elementen, keine vollkommene Realisirung der Äquintverhältnisse in der Chemie u. s. w.

Das einem Systeme, einer Art zu Grunde liegende Prinzip kann daher niemals vollkommen, sondern nur näherungsweise verklichen. Die Vollkommenheit, welche von der Natur allerdings beckt wird, ist daher Reinheit oder Schärfe des dem Geschöpfe Grunde liegenden Systems. Diese Reinheit ist wegen der allgemen Unvollkommenheit der Materie nicht erreichbar: der erreiche Zustand oder die Abweichung von dem vollkommenen Zunde hängt von mancherlei Umständen ab. Solange diese Abweichung erhalb gewisser Grenzen bleibt, besteht das System, die Art nzipiell fort, d. h. das Bestreben der Natur bleibt auf die Herstel- des reinen Systems gerichtet und Diess hat zur Folge, dass sich die erie unter der Herrschaft der Gesetze jenes Systems als stständiges Geschöpf konstituirt und nach jenen Gesetzen tig ist oder lebt. Die Existenz unter den Gesetzen des reinen Sys, wennauch mit den bezeichneten grösseren oder kleineren Abweigen von dem Zustande absoluter Vollkommenheit, nennen wir den arrungszustand des Geschöpfes.

Dem Beharrungszustande liegt also immer das völlig reine tem als ideale Norm, als Endzweck des Naturbestrebens Grunde; die Abweichung betrifft nicht jenes ideale System, dern nur die faktische oder materielle Ausführung.

Die Vollkommenheit eines Systems ist also durch seine matelle Ausführung bedingt. Eine Veränderung in der Richtung der ollkommnung nennen wir Veredelung, eine Veränderung in entngesetzter Richtung dagegen Verwilderung.

Jedem Wesen sind nun aber durch sein System nur Anlagen gen: der Werth dieser Anlagen, die Intensität und Richtung der daraus pringenden Kräfte wird erst durch die Wechselwirkung mit der t bedingt (No. 3). Die Aussenwelt nimmt daher ebenfalls an der führung jenes Systems einen bestimmten Antheil, indem ihr Zusammenen mit diesem Systeme das Geschöpf nöthigt, gewisse Zustände nehmen oder sich in gewisser Weise zu bilden. In den durch Thätigkeit der Aussenwelt liegenden Veränderungen beruht die Ansung des Geschöpfes an die Welt. Einen an die Aussenwelt angesten Beharrungszustand nennen wir den Normalzustand des Gepfes.

Es leuchtet ein, dass diese Anpassung, namentlich im Thierreiche, n unzählige Veranlassungen bewirkt wird, durch Nahrung, Klima, re Natur, lebende Mitwelt, Kreuzung, Beschäftigung, Schicksale u. s. w. iese Anpassung, welche ja nur das Resultat der Wechselwirkung zwi- dem Systeme des Geschöpfes und der Mitwelt ist, eben-

sowohl den Grundbedingungen jenes Systems, wie den Kräften d Aussenwelt entsprechen muss; so ist klar, dass uns in jedem Geschöp ein für die Aussenwelt zweckmässiger Organismus entgegentret wird und dass sich bei der Anpassung des animalischen Organism weil ja dessen wesentliche Grundkraft der Geist ist, nothwendig Wei heit offenbaren muss. Beispielsweise ist die Anpassung der Hand d Menschen an seine Beschäftigung nicht das geistlose Resultat der Ei wirkung oder des passiven Widerstandes der Aussenwelt, sondern d Resultat der Wechselwirkung zwischen dem animalischen O ganismus und der Aussenwelt, also der Mitwirkung d Geistes. Die darin bewunderte Zweckmässigkeit kömmt also nic auf Rechnung der mit der Hand bearbeiteten Stoffe, sondern a Rechnung des mit der Hand arbeitenden Geistes.

Jeden Zustand, in welchem ein System oder eine Art beharrli existirt, nennen wir eine Varietät und den Übergang in diesen Zusta eine Variation.

Alle demselben Systeme oder derselben Art angehörigen G schöpfe von verschiedenem Beharrungszustande, also al Varietäten derselben Art wollen wir stammverwandt, al Geschöpfe derselben Art von gleichem Beharrungszustande d gegen blutsverwandt nennen.

Abnorm soll ein Zustand heissen, bei welchem keine Beharru mehr möglich ist. Sobald ein System durch irgend eine Veranlassung abnormen Zustand versetzt wird, tritt fortschreitende Verä derung ein: überschreitet die Abnormität nicht gewis Grenzen; so ist ein neuer Beharrungszustand möglich u die zur Einnahme dieses neuen Beharrungszustandes au geübte Thätigkeit ist Metamorphose oder Umbildung (vg No. 8). Überschreitet dagegen die Abnormität jene Gre zen; so ist kein neuer Beharrungszustand mehr möglic es tritt zwar die auf Metamorphose gerichtete Thätigke ein; allein ohne ihr Ziel zu erreichen; es erfolgt der Unte gang oder Tod des Systems.

Die Veranlassung, welche ein System in abnormen Zusta versetzt, ist immer eine äussere, da ja offenbar ein Beharrungszusta sich nicht von selbst ändern, ein Prinzip sich nicht gegen sic selbst kehren kann. Eine solche äussere Veranlassung ist also ein A griff auf das System oder die Entwicklung irgend einer äusse ren Thätigkeit auf das System. Die unmittelbare Folge ein solchen Angriffes braucht nicht gerade eine materielle Veränderu irgend eines Systemtheiles zu sein, sie kann auch in einer Veränderu der Thätigkeit eines solchen Theiles bestehen.

Wenn die Umstände dazu geboten sind, vollzieht sich Verwilderu so gut wie Veredelung: allein da alle Veränderungen durch das un wandelbare Gesetz des Systems oder der Art beherrscht werde dieses System also unausgesetzt sich wirksam erweis't; so leuchtet ei dass die Lebensthätigkeit jedes Geschöpfes bei dargebotener Auswa zwischen äusseren Verhältnissen (Stoffen und Kräften) mit einer natür lichen Vorliebe mehr die dem Systeme entsprechenden, als di

widerstreitenden wählen wird. Hieraus beruht der alleine oder durchschnittliche Fortschritt der Entwick-; aller Geschöpfarten zu grösserer Vollkommenheit · Veredelung.

Wenn man erwägt, dass die Umstände, welche eine Schöpfungsode überhaupt möglich machten, die Zusammensetzung und ischung der Grundarten im höchsten Grade und zwar so sehr stigen mussten, dass die Entstehung einer reinen Grundart zu nerhörten Zufälligkeiten gerechnet werden muss; so ist auch o klar, dass diese Umstände für die Reinheit der Arten durchaus instig sein mussten, dass also im Allgemeinen die Gepfe aller Reiche aus dem Schoosse der Natur unmitar nur in Zuständen grosser und mannichfaltiger Unkommenheit entspringen konnten. Kein reines Gold, kein Eisen, kein reines Wasser, keine reine Luft, nur versetzte Mineranur wilde Pflanzen, wilde Thiere, wilde Menschen waren das natür- Produkt der Schöpfungsperioden.

ch kann nicht umhin, in Beziehung auf Schöpfung noch einige ernden Bemerkungen hinzuzufügen. Allerdings entfaltet sich eine re Grundkraft aus den niedriger organisirten Stoffen, z. B. Vegetaus den Mineralien erst dann, wenn die Letzteren zu einem Hauptme (No. 3) zusammentreten. Diess erfordert das Zusammenkommen mter Mineralien in bestimmten Verhältnissen und in bestimmter mung. Wie ist es nun möglich, dass sich diese speziellen Bedinn in einem Chaos von Stoffen realisiren, wenn diese Stoffe lediglich natürlichen Kräften überlassen sind! Diess begreift sich, wenn man et, dass die Uranlage zu allen Grundkräften in der Materie vorhanden ist, ehe sich diese Anlage zu Kraft entfaltet. Die e strebt daher vermöge ihrer Gesetze fortwährend nach Entfaltung Kräfte: da jedoch die äusseren Verhältnisse oder die Einwir- der Aussenwelt in unzähligen Beziehungen die Rolle von Hinssen oder Widerständen spielen; so ist klar, dass jenes Streben nders Erfolg haben kann, als nach Besiegung dieser Hindernisse, nit anderen Worten unter günstigen Umständen.

lan denke sich z. B. eine gravitirende Masse in einem grossen als feinen Staub zertheilt. Wie weit auch die Theilchen auseinanegen, wie schwach demnach die Gravitation zwischen ihnen ist, wie eselbe also durch andere in diesem Raume wirkenden Kräfte vert wird, jene Theilchen einander zu nähern, sodass diese Theilchen, bar ganz unabhängig von jener Gravitation, sich in der unregelsten Weise gruppiren und hinundher geschleudert werden: die Gran wirkt dessenungeachtet unablässig nach einem festen Gesetze auf eilchen ein, bewirkt also unter günstigen Verhältnissen immer eine eitige Annäherung derjenigen Gruppen, in welche sich die Genasse durch die gleichzeitige Einwirkung der Aussenwelt etwa ab- hat, bis sich endlich bei genugsamer Annäherung die Konng zu einem oder zu mehreren Planetensystemen mit einer n, eben von der gegenseitigen Annäherung abhängigen Rapidität tensität vollzieht.

Ebenso streckt auch die Affinität, obwohl sie nur in der näch- Nähe von effektvoller Wirkung ist, doch ihre Polypenarme in den unen lichen Raum hinaus. Das Sauerstoffatom hat immer eine gewi wennauch noch so schwache Neigung, sich mit einem sehr entfernten senatome zu verbinden und die befreundeten Mineralien (No. 3) st ben vermöge der in der Materie wohnenden Uranlage zur Vege tionskraft trotz ihrer Entfernung fortwährend nach der Zellenb dung, rücken also unter den hierzu günstigen Verhältnissen von se zu einer Zelle zusammen. In gleicher Weise vollzieht sich die Schöpfu des Thierreiches, indem die Materie vermöge ihrer Uranlage zur Geist kraft fortwährend nach der Vereinigung befreundeter Vegetationssyste zu animalischen Organismen strebt und diesen Erfolg unter d dazu günstigen äusseren Verhältnissen erreicht.

10. Geschlecht. Alle Pflanzen und manche niederen Thiere hal die Fähigkeit, abgerissene Theile ihres Körpers zu vervollständigen u sich auf diese Weise (durch sogenannte eingeschlechtige Zeugun fortzupflanzen. Dieser Vorgang ist im Grunde genommen ein P zess des gewöhnlichen Wachsthums: denn das in die Erde gesteck Reis verhält sich im Wesentlichen ebenso, wie das aus einer Knos hervorspringende Reis: die Metamorphose, welche das in der Er steckende Ende des Reises im ersteren Falle erleidet, indem es sich z Wurzel umbildet, ist eine natürliche Anpassung an die äusseren Verhä nisse, welche allerdings bei dem aus der Knospe entspringenden Re nicht nöthig ist, da dasselbe seine Nahrung direkt durch die damit ve wachsenen Zellen empfängt.

Dieser Weg der Fortpflanzung ist nicht der gewöhnliche und natü liche für das Pflanzenreich; für das höhere Thierreich findet er überhau nicht statt. Die natürliche Fortpflanzung beruht auf zweigeschlecht ger Zeugung oder Begattung. Betrachten wir diesen Prozess er im Pflanzenreiche.

Wir haben unsere Ansicht über das Wesen einer Pflanze bereits d hin entwickelt, dass wir das in einer Pflanze zur Erscheinung kommen eigentliche vegetative System in die einzelne Zelle verlegen und d Gesammtpflanze als ein Aggregat von Zellen in Zuständen verschied ner Metamorphosen betrachten. Die Formbildung der einzeln Theile der Pflanze wie Stamm, Blätter, Blüthen u. s. w. entspringt uns res Dafürhaltens (ähnlich wie die Form des Krystalls) daraus, dass di späteren Zellen auf die früheren wachsen, also gleichzeitig vo diesen Zellen und von der Aussenwelt beeinflusst werden, was eben wohl ihre Metamorphose, als auch ihre Beschaffenheit und ih gegenseitige Anordnung bedingen muss.

Die Entwicklung oder das Wachsthum einer neuen Zelle ist ein A der Geburt einer Zelle, nicht ein Akt der Geburt einer Pflanze: den die neue Zelle bleibt Bestandtheil der Mutterpflanze; sie wird nic selbständig: sie ist nur fähig, unter den Bedingungen zu existi ren, unter denen sie entstand; die Samenknospe stellt also da der Pflanze zu Grunde liegende vegetabilische System in einer For und Beschaffenheit dar, welches den in der Knospe herrschende

n entspricht und nur unter diesen Verhältnissen, nicht aber den im Erdboden herrschenden Verhältnissen lebensfähig ist. lbstständig oder unter den allgemeinen Lebensverhält- n der Pflanze existenzfähig zu werden, muss die Samenknospe eine morphose erleiden. Diese Geburtsmetamorphose wird durch reinigung mit dem Samenstaube bewirkt, welcher, da es sich loss um mechanische Verbindung handelt, ebenfalls eine Metamor- zu erleiden hat.

in allgemeines Kriterium dieser, wie überhaupt jeder anderen Me- hose besteht nothwendig darin, dass sich der Prozess, welchen der staub in der Knospe und umgekehrt die Knospe in dem Staube demjenigen Prozesse, welcher bis dahin in jenen Körpern lebte, vissen Hinsichten entgegensetzt oder denselben besiegt, dass e Thätigkeit des Staubes in gewissen Beziehungen einen Gegensatz Thätigkeit der Knospe darstellt. In diesem Gegensatze der Thä- des Staubes und der Knospe beruht das Verhältniss des männ- n und weiblichen Geschlechtes und in der Ausübung dieser keit die Zeugung. Man sieht, dass das Geschlechtsverhält- ur in solchen Wirkungen zweier Körper besteht, welche ihre Bezie- zu einander, also die äusseren Beziehungen dieser Körper be- Das eigentliche System, welches beiden Körpern zu Grunde nd welches ihr inneres Grundwesen ausmacht, kann und muss in gewissen Haupteigenschaften einunddasselbe sein. Diess raus hervor, dass bei der Zeugung beide Körper systematisch mmenwirken und sich verbinden müssen, dass es sich hierbei ffenbar nicht um die Bildung von eigentlichen Zusammen- ngen (welche ganz andere Eigenschaften als die Komponenten nen), sondern nur um Mischungen handelt, dass also die sich nden Systeme mindestens den Bedingungen der Formverwandt- (No. 3) entsprechen müssen.

e vorstehenden Begriffe finden eine unmittelbare Anwendung auch s Thierreich. Der Vorgang der Befruchtung des weiblichen huf Konstituiruug eines selbstständigen Individuums durch die Zu- wirkung mit dem männlichen Samen ist prinzipiell ganz derselbe. wesentliche Unterschied liegt nur darin, dass während die vege- schen Embryonen nur einfache Pflanzenzellen zu sein en (wiewohl sie in Wirklichkeit meistentheils gewisse zur Begat- rgebildete Zellenkomplexe sind), die animalischen Embryo- thwendig Organismen, d. h. systematisch geordnete Zel- nplexe oder Organismen im Zustande einer Anfangsmetamor- sein müssen.

der männliche Samen von demselben Systeme oder von der- Art, wie das wirkliche Ei ist, sein kann, aber dennoch ussen hin eine Thätigkeit entwickelt, welche der nach aussen ten Thätigkeit des Eies direkt entgegen wirkt; so muss terschied zwischen Samen und Ei in gewissen nebensäch- Eigenschaften des Systems bestehen, also in Eigenschaf- ie sie einunddasselbe System in Zuständen verschie- Metamorphose darzubieten fähig ist. Möglicher-, ja wahrschein-

licherweise ist dieser Unterschied aber zum Theil auch durch solche E
genschaften bedingt, welche den in No. 9 betrachteten Variationen de
selben Art für gewisse Zwecke angehören. Ohne diesen Unt
schied speziell zu kennen, leuchtet doch ein, dass man darüber folgen
zwei allgemeinen Sätze aussagen kann.

Die Energie der Erregung der Geburtsmetamorphose des Ei
zu einem selbständigen Individuum ist gleichbedeutend mit d
Energie der systematischen Verbindung des Samens mit dem E
Energie der Erregung der Geburtsmetamorphose ist gleichbedeutend n
Fruchtbarkeit der sich begattenden Geschöpfe, und die En
gie der Verbindung des Samens mit dem Ei ist gleichbedeutend u
Dauerhaftigkeit des erzeugten Geschöpfes. Da nun die erzeu
ten Geschöpfe demnächst zeugende werden; so folgt aus Vorstehende
dass im grossen Naturleben Dauerhaftigkeit und Fruchtbarke
der Arten Hand in Hand gehen.

Der zweite allgemeine Satz ergiebt sich aus der Erwägung, dass
der Erregung der Geburtsmetamorphose durch die Einwirkung des S
mens der Letztere eine Thätigkeit entwickeln muss, welche der des E
in gewisser Beziehung widerstreitet, also jedenfalls nicht mit i
konform ist. Diess kann nun allerdings schon dadurch geschehen, d
der Samen ebendasselbe animalische System wie das Ei, jedoch in eine
anderen morphologischen Zustande darstellt. Wenngleich nun unzwei
haft der geschlechtliche Gegensatz hauptsächlich in dieser rein morph
logischen Verschiedenheit liegt; so wird doch, weil die Energie der E
regung der Geburtsmetamorphose und die Energie der Verbindung d
Samens mit dem Ei Hand in Hand gehen, und weil ganz identische S
steme nach dem allgemeinen Wesen der Affinität keine grosse Begier
zur Verbindung zeigen, ganz unbestreitbar die Begierde und Energie d
ser Verbindung und demzufolge auch die Begierde und Energie der E
regung der Geburtsmetamorphose dadurch wesentlich erhöht werden, da
Ei und Samen nicht morphologische Zustände zweier ganz identi
schen, sondern zweier solchen Systeme sind, welche gewisse Variati
nen derselben Art darstellen. Hieraus folgt denn der Satz, dass a
der Kreuzung der Varietäten einer Art, überhaupt aus d
Begattung von Individuen von gewissen Verschiedenheit
kräftigere und fruchtbarere Geschöpfe hervorgehen, als a
der Begattung völlig oder sehr nahe identischer (blutsve
wandter) Arten, dass auch, weil jene Energie auf natürlich
Neigung (Affinität) beruht, die Kreuzung ein Ergebniss d
natürlichen Verhaltens der Geschöpfe sowohl im Thier
wie im Pflanzenreiche ist.

11. **Unveränderlichkeit der Arten.** Entwicklung ist die Ve
änderung eines Körpers, welche sich ergiebt, wenn derselbe seine natu
gesetzliche Lebensthätigkeit äussert, eine Thätigkeit, welche d
unmittelbare Ausfluss des normalen Gebrauches seiner natürlich
Kräfte ist und welche auf Selbsterhaltung, Selbstbestimmung
Alleinherrschaft gerichtet ist.

Wenn diese Entwicklung aus reiner Thätigkeit, d. h. aus Arbeit un

t etwa aus einer Verbindung mit anderen Körpern entspringt; st es offenbar unmöglich, dass der arbeitende Körper A durch Bethätigung seiner Existenzbedingungen diese Bedingun- selbst ändere, oder ein anderes System annehme oder aus den nzen seiner Art hinausgehe. Nur wenn bei jener Thätigkeit des Kör- A eine Verbindung mit einem anderen Körper B, also mit m anderen Systeme erfolgte, wäre eine Veränderung des Systems der Art des Körpers A denkbar. Betrachten wir demnach das Re- t der Verbindung zweier Körper A und B zu einem gemeinschaftli- oder selbstständigen Körpersysteme.

Wenn die beiden Körper A und B zwei verschiedenen Naturrei- n angehören; so ist eine Verbindung beider zu einem selbstständigen er nur möglich, wenn dieselben in bestimmten naturgesetzlichen iehungen zueinander stehen. Eine bestimmte Pflanze vermag nur mmte Mineralien, ein bestimmtes Thier nur bestimmte Nahrungs- e zu assimiliren. Die naturgesetzliche Beziehung, in welcher der nilationsfähige Körper zu dem assimilirenden steht, gehört in die gorie der Neigungen oder Verwandtschaften: wir wollen sie Assimilationsneigung nennen. Die der Assimilationsneigung des rren Körpers unterworfenen Körper des niedrigeren Reiches stehen nach 3 unter sich im Verhältnisse der Freundschaft. Bei dieser Thä- eit erhebt der höhere Körper A den niedrigeren B auf die Stufe sei- Naturreiches. Mit der Entwicklung des ersteren ist also Entfaltung des letzteren verbunden. Jener erscheint als nerrschender, aktiver, erhebender, dieser als ein beherrsch- passiver, erhobener.

Es ist nun sehr beachtenswerth, dass bei diesem Prozesse der Assi- tion oder Ernährung der assimilirende Körper, weil er ja nur e Körper B aufnimmt, zu welchen er eine naturgesetzliche Nei- g hat, welche also seinem Systeme entsprechen, dieses Sy- offenbar nicht verlassen kann.

Demzufolge behält eine Pflanze und ein Thier bei der aus der Er- ung, d. h. aus der Assimilation von mineralischen, resp. vegetabilischen n hervorgehenden Entwicklung stets das System, die Art, den us bei. Für das Mineralreich liegen die Grundarten nicht in usammengesetzten chemischen Körpern, sondern in den chemischen nenten. Assimilation eines Stoffes aus niedrigerem Naturreiche also für diese Elemente nur Assimilation von Äther oder Pondera- m heissen. Ob dergleichen in der Natur vorkömmt, mag dahin ge- sein: kömmt es aber vor; so lehrt die anerkannte Unveränder- keit der chemischen Elemente, dass alsdann für jedes assi- rte Theilchen Äther oder Ponderabeles ein ebenso grosses namiges Theilchen ausgeschieden oder sezernirt werden muss, sich also unser Gesetz auch für das Mineralreich bestätigt.

Jetzt kömmt aber noch der sehr wichtige Fall in Betracht, wo die Körper A und B demselben Naturreiche angehören oder auf ben Entfaltungsstufe der Materie stehen. Verbindungen r Körper zu selbstständigen Körpern sind auch jetzt nur möglich, ihre Grundsysteme in bestimmten naturgesetzlichen Beziehun-

gen, nämlich in Verwandtschaft stehen (No. 3 und 4). Ist Diess de Fall; so sind Verbindungen möglich, und es kommen zwei Arten von Ver bindungen in Erwägung: Zusammensetzung, welche auf Wahlver wandtschaft beruht und ein selbstständiges Geschöpf höherer Ord nung, also besonderer Art mit neuen Eigenschaften erzeugt, ferne Mischung, welche auf Formverwandtschaft beruht und ein Ge schöpf derselben Ordnung mit gemischten Haupteigenschafte und neuen Nebeneigenschaften, eine Mischart, hervorbringt.

Wenn die Bestandtheile einer zusammengesetzten oder gemischte Art nicht isolirt, sondern in Verbindung mit anderen gegeben sind; s wird die stärkere Verwandtschaft zwischen gewissen Theilen der gegebene Körper zuerst Trennung dieser Theile aus ihren gegebenen Verbindunge und sodann Vereinigung zu den neuen Verbindungen bewirken. Ein solche vorgängige Entmischung kömmt übrigens nur bei eigentliche Zusammensetzungen, nicht bei Mischungen in Betracht: wir habe also drei Vorgänge zu erwägen. Zusammensetzung aus isolirte Arten, Mischung aus isolirten Arten, Zusammensetzung mi vorgängiger Trennung gegebener Verbindungen.

Im Mineralreiche kann offenbar jeder dieser drei Vorgänge vor kommen. Die Vorbedindung ist nur der Zustand der Flüssigkei Ausserdem aber erfordert jede wahrhafte Zusammensetzung, als der erste und der dritte Vorgang, nicht bloss das Vorhandensein be liebiger Quantitäten der verwandten Stoffe, sondern bestimmte Quantitäten dieser Stoffe: denn die Affinität verbindet nur nach Äqui valentverhältnissen. Da übrigens für das Mineralreich jede kleinste Theil als Körper oder Mineralsystem selbstständig ist; so wir sich immer aus jeder beliebigen Quantität A des einen und jeder belieb gen Quantität B des verwandten Stoffes eine gewisse Quantität de chemisch zusammengesetzten Körpers AB bilden: allein es wird, wenn A und B nicht in dem Äquivalentverhältnisse stehen, entweder von A ode von B eine gewisse Menge unverbunden übrig bleiben. Da nun di letztere Menge als Zusamensetzung überhaupt nicht vorhanden is also bei der Verbindung überall keine Rolle spielt; so ist klar, dass sic die Affinität doch immer nur auf Äquivalentmassen äussert.

Diese Betrachtung ist für das Pflanzen- und Thierreich vo grosser Wichtigkeit: denn nachdem die Schöpfungsperiode für dies Reiche geschlossen worden, d. h. nachdem die äusseren Bedingunge unter welchen Entfaltung der Grundkräfte möglich ist, durch di Entwicklung des Erdkörpers vorübergegangen sind, ist ein Zusammen schiessen von Mineralien zu Zellen und von Zellen zu Organismen, ebens wie völlige Trennung und Auflösung von Zellen oder von Organismen behu Herstellung neuer Zusammensetzungen aus den Elementen dieser Zelle oder Organismen nach bestimmten Äquivalentverhältnissen zur Un möglichkeit geworden. Der Lebensprozess in diesen Reichen, sowei es sich dabei um Verbindung handelt, kennt nur Assimilation (Ernäh rung), welche bereits vorhin besprochen und als eine Vereinigung mi einem Körper niedrigen Reiches erkannt ist, und Begattung ode überhaupt Vereinigung mit einem Geschöpfe desselben Reiche Da nun die Pflanze oder vielmehr die Zelle nicht als ein beliebige

ıntum, sondern als ein bestimmt geordneter Stoff, ebenso der ryonische Organismus als bestimmt geordnetes, einheitliches Zelsystem in Betracht kömmt; so müsste bei der Begattung, wenn sie wahre Zusammensetzung wäre, vollständige Auflösung und bildung der Systeme vorkommen, und Diess würde die Anwesenheit bestimmter Äquivalentverhältnisse in einem Ei und einem Satheilchen voraussetzen. Die genaue Abmessung bestimmter Äquintmassen in dem Ei des einen und dem Samentheilchen des an-n der beiden sich begattenden Individuen scheint unmöglich: erdem ist bei der organischen Beschaffenheit selbst des unbefruchen Eies und des befruchtenden Samens eine völlige Auflög Beider ebenfalls nicht wohl denkbar.

Hierzu kömmt endlich als durchschlagendes Argument noch die tsache in Betracht, dass das Ergebniss der Begattung niemals ein höpf von besonderer Art, d. h. ein Geschöpf, dessen Eigenschaften denen seiner Erzeuger spezifisch verschieden sind, sondern ein höpf ist, welches die Eigenschaften seiner Erzeuger in sich einigt.

Aus allem Diesen folgt, dass Begattung keine Zusammensetzung, lern Mischung der Arten ist. Bei der Begattung oder Kreuzung ben also die Geschöpfe in der ihnen zukommenden Ordnung ihres urreiches, sie steigen nicht zu höheren Ordnungen hinauf, wie es bei ammensetzungen der Fall sein würde.

Geschöpfe aber, welche sich kreuzen können, müssen einer Gatg angehören oder den Gesetzen der Formverwandtschaft entchen. Die Möglichkeit der Vermischung zweier Arten r das Vorhandensein der Formverwandtschaft, die gehörigkeit zu einer Gattung ist unmittelbar erkennan der Begattungsfähigkeit. Wo also Begattungsfähigkeit tfindet, ist sicherlich Formverwandtschaft vorhanden und wo e Formverwandtschaft besteht, ist Begattung unmöglich. schen Arten, wo keine Begattung, selbst unter den günstigsten Umden, faktisch ausgeübt wird, wäre der Bestand von Begattungsgkeit oder Formverwandtschaft zwar möglich, aber sehr unwahrschein-, da die Kräfte der Natur zu ihrer Thätigkeit durch das in ihnen ende Gesetz genöthigt werden und nicht nach Laune thätig sind. n endlich die Begattungsfähigkeit fehlt, könnte möglichere der Grund an einer zu geringen Energie der Formverwandtschaft en (wie zwischen Salz und gesättigtem Salzwasser); es könnte also r Formverwandtschaft im Prinzipe stattfinden, dieselbe hätte jedoch ne Stärke, wäre also effektlos. Liegt übrigens eine Reihe sukzessiv auseinander entstandenen Mischungen vor; so n wohl mit dem letzten Gliede die Formverwandtschaft erhen, zwischen den übrigen Gliedern aber findet sie statt ist effektvoll: jedenfalls ist der Schluss berechtigt, dass n von einer solchen Reihe die letzten Glieder mischbar l, auch alle früheren es sein werden.

So sehen wir denn im Pflanzenreiche durch Kreuzung unzählige charten entstehen. Aber nicht alle Pflanzen, sondern nur form-

verwandte begatten sich. Mit dem Staube der Rose lässt sich kein Apfelblüthe befruchten. Die Möglichkeit, dass zwei Arten des Pflanzenreiches eine Mischart möglich machen, ist durch ihre Befruchtungsfähigkeit zu konstatiren. Zusammensetzungen, also Arten mit neuen Grundeigenschaften entstehen aber aus dem Lebensprozesse der Pflanzen überall nicht.

Dieselben Grundsätze finden auf das Thierreich Anwendung. Durch Kreuzung und nur durch Kreuzung sind Mischarten zu bilden; denn nach Obigem leuchtet ein, dass wenn ein Organismus A nur arbeitet (ohne zu assimiliren), er ja nur unter den Bedingungen seines Systems arbeitet und sich überhaupt mit keinem neuen System B verschmilzt, folglich in seinem Grundsysteme verharren muss, ferner, dass wenn ein Organismus A einen zweiten B assimilirt, Diess nur ein solcher (aus niedrigerem Reiche) sein kann, welcher in das System des A hineinpasst, sodass er nur einen anderen Körper im System A verdrängt oder ersetzt, ohne dieses System zu ändern. Ausser Arbeit und Assimilation giebt es aber nur noch Verbindung zweier Systeme A und B aus gleichen Naturreichen. Diese Verbindung kann nur als Mischung vorkommen und Diess ist Kreuzung oder allgemein Begattung.

Wo also die Kreuzungs- oder Begattungsfähigkeit fehlt, ist auch die Möglichkeit der Existenz einer Mischart überhaupt nicht vorhanden. Hund und Fuchs können sich kreuzen und demnach Mischarten bilden; der Mensch kreuzt sich mit keinem Thiere; es können sich also keine Mischarten von Mensch und Thier bilden und es können auch deren zu keiner Zeit und durch keinen Prozess (auch nicht durch Schöpfungsakte) gebildet sein: sie sind naturgesetzlich ebenso unmöglich, wie eine Mischung von Öl und Wasser unmöglich ist.

Eigentliche Zusammensetzungen aus der Art des Menschen und der lebenden Thiere sind selbstverständlich noch weniger möglich, als Mischungen. Dass dessenungeachtet der Mensch auf einem zusammengesetzten Systeme oder auf einer Zusammensetzung wahlverwandter Grundsysteme oder Grundarten des Thierreiches beruhen kann und auch in der That beruhen wird, ist durch Vorstehendes offenbar nicht ausgeschlossen: es ist nur gesagt, dass die aus animalischen Grundarten zusammengesetzte Menschenart mit irgend einer, ebenfalls aus animalischen Grundarten zusammengesetzten Thierart weder wahlverwandt, noch formverwandt ist, also nicht durch Kreuzung, noch weniger aber durch Entwicklung oder Anpassung an die Aussenwelt daraus hervorgegangen sein kann.

Fragt man nach dem gewöhnlichen Vorgange der Begattung im Mineralreiche; so antwortet die Natur mit stummem Schweigen. Die Felsen stehen starr; die Zeit zerreibt sie zu unbildsamem Staube; das Wasser und die Luft suchen diese unbeweglichen Massen vergeblich in Fluss zu bringen: die Zusammensetzung und Kreuzung der Mineralien ist

grossen Naturleben nur eine sehr unbedeutende, wennauch nicht ganz ende Erscheinung. Doch ist diese Unbeweglichkeit des Mineralreiches t eine ganz natürliche Folge der Erkaltung der Erdrinde? Um Verlungen zu stiften, muss das Molekül aufgeschlossen sein, d. h. im Zustande der Flüssigkeit befinden: wo diese Vorbedingung t erfüllt ist, steht der Stiftung neuer Verbindungen ein äusseres derniss entgegen. Das Mineralreich schläft seit der Erhärg der Erdrinde seinen Weltenschlaf. Das Pflanzenreich seine jenem Erstarrungzustande völlig entsprechende Periode; nämlich Winter. Zu dieser Zeit ist auch die Pflanze unthätig, unfrucht- und der Kreuzung unfähig. Der Zustand, welcher im Pflaneiche nur periodisch eintritt, ist im Mineralreiche dauernd gelen. Derselbe Zustand fehlt auch dem Thierreiche nicht; hier ist er Schlaf. Erstarrung, Winterruhe, Schlaf sind für das Mineral-, nzen- und Thierreich die gleichnamigen Zustände, deren Hauptkritei darin liegt, dass in diesen Zuständen die Wirksamkeit der höchsten ft, welche dem betreffenden Reiche seinen Rang verleiht, also resp. die ität, die Vegetation, der Geist niedergehalten ist, wogegen die niedrin Kräfte nicht so sehr gehemmt sind: im Winter vollzieht die Pflanze er noch chemische Prozesse und im Schlafe das Thier vegetative.

Ausser den drei Thätigkeiten: Arbeit, Assimilation und Begatg giebt es keine Grundthätigkeiten, welche ein System A in sei- Wechselwirkung mit der Aussenwelt B auszuüben vermöchte. Hierbei nur zu beachten, dass der Ausdruck Assimilation zwei Grundänderungen einschliesst, die Veränderung des Assimilirenden urch Assimilation von B und die Entfaltung des Assimilirten B ler höheren Naturstufe von A: die letztere Veränderung von B be- aber nicht eigentlich auf Aktivität, sondern auf Passivität von nd hat, wie eben bemerkt, keine Entwicklung, sondern eine Enttung von B, ein Aufsteigen in ein höheres Natureich zur Folge. Der Volldigkeit wegen ist es nöthig, auch alle übrigen passiven Verändegen der Körper zu betrachten. Dieselben bestehen in den Angrif- der Aussenwelt oder in den auf Selbstbestimmung gerichteten tigkeiten der ausser dem angegriffenen Körper A existirenden Dinge.

Bezeichnen wir jetzt den passiven oder angegriffenen Körper, dessen inderungen wir betrachten wollen, mit B; so haben wir die erste der iven Veränderungen soeben in der Entfaltung des Körpers B durch Assimilation von A kennen gelernt: bei dieser Entfaltung steigt der per B in ein höheres Naturreich, verliert aber seine Selbstndigkeit, indem er in das System von A eintritt. Die zweite pas- Veränderung entspringt aus der Arbeit, welche die Aussenwelt A den Körper B ausübt, ohne dass Körperverbindungen erfolgen. Hierkann entweder die Auflösung des Systems von B, also das Niederken von B in ein niedrigeres Naturreich, d. h. der Tod von erbunden sein oder, wenn der Angriff weniger energisch ist, eine Veränung von B ohne Vernichtung des Systems. Da im letzteren Falle der lerstand, welchen B dem Angriffe entgegensetzt, nicht überwun- wird, sein System als bestehen bleibt; so kann von einer inderung seines Grundtypus oder seiner Art nicht die Rede sein.

Eine dritte passive Veränderung kann es nicht geben: denn nur Arbeit und Assimilation sind die beiden Thätigkeiten, welche durch Vertauschung der Rollen von A und B verschiedene Resultate geben, wogegen Begattung, wie überhaupt Zusammensetzung der beiden Körper A und B zu einem selbstständigen Systeme diese beiden Körper als prinzipiell gleich betheiligt erscheinen lässt.

Die Stiftung eigentlicher Zusammensetzungen von Arten des Pflanzen- und Thierreiches ist, wie vorhin erläutert, kein Akt der gewöhnlichen Lebensthätigkeit oder Entwicklung dieser Geschöpfe, mithin nur ein Schöpfungsakt. Die Lebensthätigkeit, soweit sie sich als Fortpflanzung äussert, also die Kreuzung, erzeugt nur Mischungen aus den formverwandten Arten.

Ist der Bastard zweier verschiedenen Arten immer wieder zeugungsfähig mit diesen Arten und den Bastarden davon; so findet Mischbarkeit in allen Graden des Mischungsverhältnisses statt. Diess ist bei den Menschenracen und bei manchen Thierracen, z. B. den Hunden der Fall. Bei gleichen Arten ist die Mischung in beliebigen Verhältnissen selbstverständlich, weil durch dieses Verhältniss das System nicht geändert wird. Ist der Bastard nicht zeugungsfähig, weder mit einem Bastarde, noch mit der früheren Art; so ist der Schluss berechtigt, dass die beiden Arten, von welchen der Bastard stammt, sich nicht in allen Verhältnissen mischen, dass also die Stärke der Formverwandtschaft mit der Mischung herabsinkt.

Wenn zwei Arten in beliebigen Verhältnissen mischbar sind; so ist es offenbar auch möglich, durch Kreuzung diese verschiedenen Verhältnisse zu realisiren, insbesondere aus der Bastardart wieder jede der beiden Stammarten herzustellen. Je mehr nämlich die Bastardart mit der einen Stammart gekreuzt wird, desto reiner muss diese Stammart erscheinen. Aus dem Mulatten geht durch fortgesetzte Kreuzung mit Europäern immer reiner der Europäer und durch fortgesetzte Kreuzung mit dem Neger immer reiner der Neger hervor.

Wäre der Mensch aus anderen, nicht menschlichen Arten, also aus Thierarten, z. B. aus Affenarten hervorgegangen; so könnte Diess nach Obigem nicht durch Entwicklung derselben Art, sondern nur durch Kreuzung geschehen sein und zwar auf dem Wege der Mischung. Ausserdem läge nun in den lebenden Menschen- und Affenarten eine zusammenhängende Reihe von Mischarten vor. Die untersten Glieder dieser Reihe bis zum Gorilla oder Chimpanse hinauf sind vielleicht unter sich mischbar (begattungsfähig): die oberen Glieder vom Kaffern, Südseeinsulaner bis zum Europäer mögen auch unter sich mischbar (begattungsfähig) sein: ganz gewiss sind aber die obersten Glieder dieser Reihe, nämlich die höheren Menschenklassen begattungsfähig, wogegen Menschen und Affen nicht begattungsfähig sind: es ist daher ganz unmöglich, dass Menschen und Affen aus formverwandten Arten entsprossen sind.

Ausserdem, da Mischung nur eine Verbindung der Eigenschaften der Systeme, welche sich mischen, keine neuen Haupteigenschaften er-

gt, müsste man doch in Erwägung des Umstandes, dass der Mensch vor dem Affen durch so wesentliche Eigenschaften wie Verstand, nunft, Gemüth, Sprache, Kunsttrieb, politische Lebensweise, glatte t, ausschliesslich aufrechten Gang und vieles Andere auszeichnet, wendig annehmen, dass diejenige Geschöpfart, deren Kreuzung mit Affen den Menschen erzeugen sollte, ein vollkommnerer Mensch esen wäre. Dieser vollkommnere Mensch wäre dann nicht aus dem n entsprungen, und das gegenwärtige Menschengeschlecht stellte keine edelung, sondern eine fortgeschrittene Erniedrigung des Menschen Offenbar ist diese Annahme ebenso absurd, wie faktisch unwahr, m sich die Menschheit nicht verschlechtert, sondern vervollkommnet, n nach den obigen Deduktionen unmöglich, da der vollkommnere sch noch weniger, wie der gegenwärtige mit dem Affen kreuzungs-g sein konnte.

Die einzelnen Menschen der Jetztzeit sind nach allem Diesen nur die ltate der Entwicklung und der Kreuzung der erschaffenen verschie-en Menschenarten, insofern es überhaupt mehrere Menschen-en giebt. Nach No. 7 ist Letzteres jedoch unwahrscheinlich, man einen triftigeren Grund, nur eine Menschenart anzunehmen. Die gen Menschen sind alsdann die Resultate der Entwicklung und der uzung der erschaffenen Varietäten der Menschenart. Ebenso ist r Affe das Resultat der Kreuzung oder der Entwicklung (allgemeiner Variation) formverwandter Affenarten.

12. **Darwin's Irrthum.** Gleich einem Blitzstrahle ist das Werk Darwin über die Entstehung der Arten im Thier- und Pflan-reiche zwischen die erschrockenen Jünger der Naturforschung da-ergefahren. Die Idee von der Festigkeit der Prinzipien der Körper-ung ist zertrümmert, der alte Glaube an die Dauerhaftigkeit und Echt- des inneren Kernes, mit welchem die Natur ihre Geschöpfe ausgerü-hatte, als sie dieselben hinausstiess in den Kampf mit der Wirklich-, ist erloschen, die Zuversicht auf die eherne Hand der leitenden heit inmitten des Sturmes der von allen Seiten auf die Geschöpfe ringenden Gewalten ist gebrochen — gestorben ist zwar von diesem ecken Keiner; im Gegentheil, nachdem die erste Bestürzung vorüber und es sich zeigte, dass das Weltgebäude eigentlich kein Gebäude Säulen und Ecksteinen, sondern lediglich ein fliessender Brei war, her nicht einstürzen, also Niemanden gefährden kann, dessen Auf-ung auch keine architektonischen Gesetze erforderlich, mithin die e Forschung nach solchen Gesetzen überflüssig machte, beruhigte die grosse Mehrheit der bedonnerten Naturforscher von Europa und, glich den süssen, berauschenden Weltbrei schlürfend, bietet die heutige rwissenschaft in manchen Kreisen das Bild einer geistigen Bacchanalie. Schelling und die naturphilosophische Schule hat die Natur mit chteten Gesetzen bereichert; Darwin macht den Schaden gut, m er die vorhandenen Gesetze zerschlägt. Die Wirkung ist nfalls viel verhängnissvoller: denn die Erdichtung von Gesetzen bt doch dem wahren Gesetze als idealem Ziele nach und kann von Irrwege auf den rechten Pfad und dann zum Ziele gelangen: die

prinzipielle Vernichtung der Gesetzmässigkeit, die Proklamation der Gesetzlosigkeit aber kehrt dem Ziele systematisch den Rücken, will kein Ziel, sondern erhebt die Willkür zum Idol.

Dass die Geschöpfe sich unter dem Einflusse der Aussenwelt ändern, ist selbstverständlich; dieses Faktum bedarf in seiner Allgemeinheit durchaus keines Nachweises, am wenigsten mittelst eines gelehrten Apparates. Dass eine Veränderung, welche einer bestimmten Ursache angehört, zuweilen irrthümlich einer anderen Ursache zuerkannt wird, dass die Definitionen und Klassifikationen hinundwieder mangelhaft ausfallen und dass bei der Subsummirung eines speziellen Falles unter einen aufgestellten Begriff nicht selten ein Versehen unterläuft, liegt in der menschlichen Unvollkommenheit und versteht sich demzufolge ebenfalls von selbst. Um hierüber Nachweise zu führen, hätte Darwin sein Buch nicht zu schreiben brauchen; zu diesem Zwecke hat er es auch nicht geschrieben. Der Zweck dieses Buches ist nicht Berichtigung der Klassifikationsmängel, sondern der Nachweis, dass Klassifikation nach Grundprinzipien überhaupt ein Unding sei, dass in der Bildung der Organismen überhaupt kein unwandelbares Gesetz liege, dass es keine unveränderlichen Arten gebe, dass die verschiedensten Arten lediglich durch die Wechselwirkung mit der Aussenwelt ineinander übergegangen seien.

Wie weit diese Veränderlichkeit der Arten gehe, mögen folgende Beispiele lehren. Auf S. 205 der zweiten Auflage der deutschen Übersetzung von Bronn werden Landthiere in Wasserthiere und ein Eichhörnchen in eine Fledermaus, auf S. 204 Vierfüsser und Fische in Vögel, auf S. 210 ein Bär in einen Walfisch verwandelt. Auf S. 213 wird aus einem einfachen, mit Pigment überzogenen Nervenspitzchen des niedrigsten Infusoriums das komplizirte menschliche Auge herausgebildet, auch wird daselbst ein Gefühlsnerv in einen Gehörnerven und ein Gehörnerv in einen Sehnerven umgearbeitet. Auf S. 218 wird allen Wirbelthieren mit echten Lungen in der Urzeit statt der Lungen eine Schwimmblase eingehängt. Nach S. 466 wird die Greifhand des Menschen, der Grabfuss des Maulwurfs, das Rennbein des Pferdes, die Ruderflosse der Seeschildkröte und der Flügel der Fledermaus als die lediglich durch den Gebrauch veranlasste Entwicklung einunddesselben Organs erklärt. Auf S. 468 wird für alle Säugethiere ein einziger Stammvater angenommen, ebenso für alle Insekten. Nach S. 518 stammen sämmtliche Thiere und ebenso alle Pflanzen von 4 bis 5 Stammarten ab. Wer diese Stammeltern seien, verräth Darwin nicht, denn er ist noch darüber in Zweifel, ob nicht alle organischen Wesen, die jemals auf dieser Erde lebten, Pflanzen und Thiere, von einer einzigen Urform abstammen!

Es ist unbegreiflich, warum Darwin das schwierigere und unfruchtbarere Feld der organischen Natur und nicht lieber das einfachere und lohnendere Feld der anorganischen Körper zur Werkstatt seiner alchymistischen Prozesse gewählt hat. Weit eher, als man das Eichhörnchen zum fliegen bringt und die Tatzen des Bären zu Schwimmflossen umarbeitet, wird man doch einen Bleiklumpen zu einer etwas anderen Vibrationsweise und dadurch zur gelben Farbe nöthigen, ihn ein wenig verdichten und an eine andere Krystallform gewöhnen, also in Gold verwandeln können.

kann auch nach Darwin's Theorie nicht dem geringsten Zweifel unteren, dass alle Mineralien theils durch natürliche Züchtung, theils durch Kampf ums Dasein und in Folge der leidigen Angewöhnung, welche Leben von vielen hunderttausend Jahren so leicht mit sich bringt, einunddemselben chemischen Elemente erzogen sind. Ausserdem s es leichter sein, aus einem Steine einen Baum, als aus einem Baume n Menschen zu machen und demzufolge, da das Letztere nach Dar-'s Angesicht eine Kleinigkeit ist, kann man getrost den Stein (etwa Feuerstein, weil sich daran die Seele am leichtesten anzünden) als den Urvater aller irdischen Geschöpfe ansehen.

Nach Darwin's Theorie stammt der Mensch in direkter Linie Affen. Der Enkel mag auf seine Vorfahren nicht gerade stolz sein: n er sucht durch Schweigen über diesen Punkt die Aufmerksamkeit en abzulenken. Kosmopoliten dagegen, welche sich weniger um das blut ihrer Ahnen kümmern, begrüssen die neue Vetterschaft mit wah- Jubel und lassen es sich angelegen sein, die Verwandtschaft förmlich chtlich durch Urkunden zu beweisen.

Ein Hauptbeweis stützt sich auf das aschgraue Alterthum des schengeschlechtes. Schleiden zeigt in der Schrift über das Alter Menschengeschlechtes u. s. w., dass dieses Alter auf mehr als 000 Jahre hinaufreiche, durch folgende Rechnung. Schweden hebt in jedem Jahrhundert um 1 Fuss: da sich nun dieses Land seit dem ande des Menschengeschlechtes um 800 Fuss gehoben hat, was aus Lagerstätte menschlicher Erzeugnisse hervorgeht; so müssen schon 80000 Jahren Menschen in Schweden gelebt haben. Mit dem Nil-e wird die Probe gemacht: dasselbe wird in einem Jahrhundert $5\frac{1}{2}$ hoch aufgeschwemmt, ist aber, wie die Funde lehren, seit der Existenz Menschen um 72 Fuss erhöht, lässt also auf ein Alter des Menschen-hlechtes von mindestens 16000 Jahren schliessen (welche Zahl Schlei- auf 24000 Jahr abrundet).

Diese Rechnung liefert nun noch folgende interessanten Resultate. ch das Nilthal alle 100 Jahre um $5\frac{1}{2}$ Zoll erhöht: so wird der Nil in 000 Jahren auf einem 10000 Fuss hohen Bergrücken dahinfliessen: das Thal hat sich alsdann zu einem Gebirge aufgeschwemmt, und hweden alle 100 Jahre um 1 Fuss steigt; so wird dasselbe in 120000 onen Jahren im Monde liegen. Die geologischen Chronisten werden uns wohl ein donnerndes Halt zurufen mit der Behauptung, die Rechnung lsch: denn das Steigen des Nilthals und Schwedens könne nicht mit förmiger Geschwindigkeit fortgehen, sondern werde sich mit der naturgemäss verzögern. Hierauf lässt sich nur erwiedern, der and ist ganz richtig; man hat es allerdings nicht mit einer gleich-igen, sondern mit einer verzögerten Bewegung zu thun: eine dem Ende sich verzögernde, ist aber eine nach dem Anfange hin eschleunigende Bewegung, Schweden und das Nilthal ist daher rsten Jahrhundert nicht um 1 Fuss, resp. $5\frac{1}{2}$ Zoll, sondern um nach dem Gesetze dieser Bewegung zu bestimmende viel sere Höhe gestiegen. Angenommen, diese Höhe habe für Schweden, es seine Hebung einer unterirdischen Kraft verdankt, 40 Fuss ür das Nilthal, welches seine Erhöhung dem Niederschlage aus

Wasser verdankt, $3\frac{1}{2}$ Fuss betragen; so reduzirt sich das Alter d schwedischen Einwohner auf 4000 und das der ägyptischen ebenfalls a 4000 Jahr!

Ausserdem illustrirt Schleiden die Verwandtschaft des Affen u Menschen durch eine kleine Bildergallerie von Hirnschädeln, welche d Ähnlichkeit der Affen- und Menschenschädel erkennen lässt, also die Ide tität der Art beweisen soll. Es wäre ebenso überzeugend gewesen, wei er sämmtliche Vogeleier dargestellt und dabei gesagt hätte: die äu sere Form aller Eier ist nahezu dieselbe; folglich beherbergen dieselb auch nur eine einzige Vogelart. Noch einfacher wäre es, Zinn, Blei, Zi Aluminium, Silber und Platin nebeneinander zu legen und zu sagen: al diese Metalle tragen nahezu dieselbe Farbe, folglich stellen sie Sto dar, welche durch Entwicklung ineinander übergehen.

Derartige geologischen Rechnereien und zoologischen Zeichnerei haben weder Hand noch Fuss. Ein System, ein Gesetz lässt sich nicht a der einseitigen Auffassung einzelner Eigenschaften und Wirkungen beu theilen: die Letzteren können bei gleichen Systemen unähnlich und b ungleichen Systemen ähnlich sein. Auch das Aufschneiden mit den Jah tausenden der Erdgeschichte kann das Unmögliche nicht möglich mach und erscheint überhaupt als ein klägliches Beweismittel. Eine Million Jah setzt Manchen so sehr in Schrecken, dass er sich gern zur Anerkenntni der abenteuerlichsten Dinge versteht: und doch liegt das Ungeheuerlic nur in der Beschränktheit unseres eigenen Geistes, nicht in der Wir lichkeit. Eine Sekunde besteht ebenfalls aus einer Million von Auge blicken, und wenn man sich den stetigen Gang einer Entwic lung vergegenwärtigt; so findet man, dass in jedem dieser Million vo Augenblicken eine besondere Veränderung auf Grund ein bestimmten Gesetzes vor sich geht, dass also, wenn der tiefe Grund der Entwicklung, das Gesetz, nicht etwas von der Ze absolut Unabhängiges wäre, die Welt wahrlich keiner Jahrta sende bedürfte, um sich total umzugestalten, dass sie vielmehr in u aufhörlichen wilden Perturbationen sich überstürzen würde.

Darwin nennt sein Buch eine lange Beweisführung. Ich mu gestehen, dass ich nicht einen Schatten von beweisender Kraft darin z entdecken vermag: die Resultate sind wesentlich durch folgende vi Trugschlüsse erzielt. Die erste der gebrauchten Beweisformen ist dies Wenn es ausser zwei ganz verschiedenen Geschöpfen A und C ein dritt B giebt, welches gewisse Organe wie A und gewisse wie C hat; so nen nen wir B einen Übergang von A zu C, benutzen aber diese auf rein Klassifikation beruhende Ausdrucksweise sofort so, wie wenn in de Existenz der drei Geschöpfe A, B, C ein Übergang durch natürlich Entwicklung von der Art A zur Art C vorhanden und nachgewies wäre. Die zweite Demonstrationsweise erklärt den faktischen Man gel aller stetigen Übergangsformen zwischen zwei Geschöpfarten, also de Mangel an jedweder thatsächlichen Bestätigung des angenomme Gesetzes, einfach für Lücken, welche die Zeit in die Reihe der Geschöp gerissen haben soll. Die dritte Schlussform lautet so: Da wir weg der Beschränktheit der Erfahrungen aus unserer kurzen historischen Ze von der Schöpfung und Entwicklung der Arten überhaupt Nichts wi

; so steht es uns frei, Alles darüber zu präsumiren. Das vierte ment zieht aus der Beobachtung, dass die Aussenwelt einen Einss auf die Ausbildung der Organismen hat, die Folgerung, dass sich Geschöpf den Kräften der Aussenwelt gegenüber wie ein passiver g verhalte, der durch jene Kräfte, als dem eigentlich aktiven Prinze, ohne Umstände in jede Form, welche die Einwirkung der Aussen- verlange, geknetet werde.

Durch die letztere Anschauung wird die Anpassung des Geschöpfes die Aussenwelt wie eine formbildende Kraft der Aussenwelt andelt, es wird überhaupt die Aussenwelt als das Lebendige und timmende, das Geschöpf dagegen als das Todte und Bemmte hingestellt, während doch umgekehrt das Prinzip des indivillen Lebens in dem Geschöpfe wohnt und die Kräfte der Auswelt dem Entwicklungsprinzipe des Geschöpfes gegenüber nur als lerstände erscheinen, in deren Überwindung durch die spezifischen fte des Geschöpfes die Anpassung besteht, was so viel sagen will, dass das Geschöpf ein spezifisches System von Fähigkeiten, . eine bestimmte Art darstellt, welche von dem einwirkenden Systeme Aussenwelt völlig unabhängig und demnach auch unveränder- ist.

Darwin blickt mit Vertrauen auf die jüngeren, strebsameren Naturcher der Zukunft. Indem ich hierbei zu konkurriren wage, stärkt es doch ne Zuversicht in die obigen Resultate der Reflexion, dass eine lhafte Autorität der Gegenwart, mein gelehrter Freund, der scharfsich- und in der Zoologie überaus erfahrene Professor Blasius, versi- t, durch eben dieselben Mittel, welche Darwin's Theorie hervorgeht haben, nämlich durch direkte Beobachtung, zu dem ganz ent- engesetzten Ergebnisse, d. h. zu der Überzeugung von der Unänderlichkeit der Arten gelangt zu sein. Hiernach erlaube ich das Wesentliche der obigen Betrachtungen in folgenden Sätzen zusamzufassen.

1. Es giebt keine andere Thätigkeit, welche die Art eines Geschöpfes irgend einem Naturreiche ändern kann, als die Kreuzung.
2. Durch Kreuzung entstehen Mischarten.
3. Nur formverwandte Geschöpfe vermögen sich zu kreuzen.
4. Die Geschöpfe, welche der Kreuzung nicht fähig sind, sind nicht nverwandt und demnach von verschiedener Art.
5. Von nicht wahlverwandten Arten können keine zusammenetzten Arten, von nicht formverwandten Arten können keine scharten existiren, gleichviel, ob man sich ihre Entstehung durch attung oder durch Schöpfung denkt.
6. Die Beständigkeit der Arten ist von Zeit und Umständen z unabhängig, sie ist absolut und ewig.
7. Diese Sätze gelten so gut von den Grundarten, wie von den ammengesetzten Arten.
8. Alle diese Schlüsse stützen sich auf die Unveränderlichkeit oder Konz der chemischen Elemente und haben denselben Grad von natursenschaftlicher Wahrscheinlichkeit für sich wie diese Unveränderkeit der Elemente.

9. Grundarten, sowie zusammengesetzte Arten konnten nur durch Schöpfung entstehen.

10. Die Entstehung einer reinen Grundart bei der Schöpfung konnte nur unter äusserst günstigen Verhältnissen, also als eine Seltenheit vorkommen, die Entstehung von zusammengesetzten Arten dagegen als das gewöhnliche Ereigniss.

11. Reinheit und Vollkommenheit einer Art konnte überhaupt nicht das gewöhnliche, sondern nur das sehr seltene Resultat der Schöpfung sein; es konnten demnach im Allgemeinen nur Mischarten und zwar Mischungen von zusammengesetzen formverwandten Arten und auch diese nur im Zustande der Unvollkommenheit oder der Wildheit entstehen.

12. Anpassung einer Art an die äusseren Verhältnisse, überhaupt an die Mitwelt ist das unvermeidliche Ergebniss der Einwirkung der Mitwelt auf jene Art.

13. Da die Unvollkommenheit, mit welcher die Arten unmittelbar aus dem Schoosse der schaffenden Natur hervorgingen, einzig und allein die Folge der Einwirkung aller äusseren Umstände war; so musste sich in dieser Unvollkommenheit doch stets die genaueste Anpassung an die gegebenen Verhältnisse aussprechen.

14. Veredlung ist der natürliche Entwicklungsgang der Geschöpfe.

15. Nicht bloss Zusammensetzung wahlverwandter Arten, welche nur durch Schöpfungsakte möglich ist, sondern auch Mischung oder Kreuzung formverwandter Arten, sowie auch die Entwicklung oder Variation einundderselben Art erzeugt Geschöpfe, welche in gewissen Eigenschaften erheblich von einander abweichen können.

16. Die grosse Mannichfaltigkeit der aus den verschiedenen geologischen Schöpfungsperioden stammenden Geschöpfe, sowie auch die äussere Ähnlichkeit und scheinbare Verwandtschaft derselben ist das ganz natürliche und unvermeidliche Ergebniss der Schöpfungsthätigkeit, nicht das Resultat der Kreuzung, Entwicklung, Anpassung oder Züchtung.

17. Die Menschheit stellt keine animalische Grundart, sondern eine zusammengesetzte Art und zwar nur eine einzige solche Art, jedoch in verschiedenen Varietäten und Entwicklungsstufen dar. In dieser Menschenart ist das Hauptelement eine besondere animalische Grundart, welche mit anderen animalischen Grundarten (eigentlichen Thierarten) zusammengesetzt ist. Die hauptsächlichen Varietäten der Menschenart sind unter dem Einflusse lokaler Verhältnisse unmittelbar aus dem Schoosse der Natur hervorgegangen. Es ist nicht bloss ein Menschenpaar, sondern es sind deren unzählige im Zustande der Wildheit oder niedrigen Entwicklung erschaffen. Die Veredelung des Menschengeschlechtes ist das Resultat theils der natürlichen Entwicklung der Menschenracen, theils der Kreuzung der unedleren mit den edleren Racen.

18. Das Menschengeschlecht kreuzt sich mit keinem Thiergeschlechte, auch nicht mit dem Affengeschlechte, ist also mit keinem derselben formverwandt; noch weniger ist es mit einem derselben stammverwandt, stellt also auch keine Entwicklung oder Veredelung eines Thiergeschlechtes dar.

19. Die erste Entstehung aller Organismen kann nicht in den For-
n ausgewachsener Individuen, sondern nur in embryonischen
ormen erfolgt sein, weil das Wachsthum ein Werk der Entwicklung ist.

20. Die grosse Mannichfaltigkeit der Varietäten, in welchem
le Thierart, auch die Menschenart, erschaffen ist, und die darauf gegrün-
e Kreuzung sichert der Art einen möglichst langen Bestand. Eine
t, welche von Anfang an rein gewesen wäre, würde wahrscheinlich
gst erloschen sein.

21. Die Schöpfung einer einzigen Art oder gar nur eines ein-
gen organischen Wesens erscheint nicht als eine Thätigkeit von
aturgesetzen, sondern von Willkür und ist selbst als Willkürakt
enso unwahrscheinlich wie die Schöpfung nur eines einzigen che-
schen Elementes, insbesondere eines einzigen Atoms davon.

13. Animalischer Organismus. — Vitalitätsapparat. Nach den
igen Untersuchungen in No. 3 ist der animalische Organismus
cht ein Aggregat von Zellen, wie die Pflanze, sondern ein vege-
bilisches Hauptsystem, in welchem sich als höhere Grundkraft der
eist entfaltet. Da dieser Organismus kein Aggregat ist, also keine
eichartigen Theile hat; so kann von konstituirenden Elemen-
n (im Sinne von No. 3) durchaus keine Rede sein. Der animalische
ganismus und demzufolge auch der Geist hat keine Theile, sondern
das Resultat der Zusammenwirkung von Komponenten oder
ganen zu einem einheitlichen Ganzen. Geist kann nicht in
ner isolirten oder losgetrennten Zelle, sondern nur in einem anima-
chen Systeme von Zellen wohnen. Dass dessenungeachtet der Geist
nes animalischen Organismus von der Beschaffenheit der einzelnen Zel-
n beeinflusst wird und dass er seinerseits wiederum die einzelnen
llen beeinflusst, dass also in jeder Zelle, solange sie Organ des
dividuums ist, geistige Kraft thätig ist, ist völlig klar und selbst-
rständlich. Ebenso klar ist, dass die einzelnen Zellen keinen animali-
hen Organismus bilden könnten, wenn in ihnen, und überhaupt in der
aterie nicht schon die Uranlage zur Bethätigung der geistigen Kraft
rhanden wäre. Der Geist erscheint im animalischen Organismus zu-
chst bloss als eine durch das System entfaltete Anlage: eine
stimmte Stärke, Richtung, Inhalt erhält oder bethätigt derselbe
st durch die Wechselwirkung mit der Aussenwelt, und die
rch diese Wechselwirkung bedingte Veränderung des Organismus ist
ne Entwicklung. Der Geist eines animalischen Körpers ist wie die
avitation eines Moleküls, wie die Affinität eines chemischen Atoms, wie
e Vegetation einer Zelle nur nach seiner Grundanlage, nach seinem
istigen Grundwesen, also z. B. nach der Fähigkeit zu denken, zu
npfinden, zu sehen u. s. w. eine bestimmte Naturkraft; nach dem Maasse
iner Intensität und Richtung, also z. B. rücksichtlich der Stärke
ner Thätigkeit, der Art seiner Gedanken, seiner Gefühle, seiner Sinnes-
hrnehmungen ist derselbe durchaus unbestimmt, variabel, in je-
m Augenblicke ein anderer und zwar von der Mitwelt abhän-
ger, d. h. durch seine augenblickliche Thätigkeit bedingter.
e Abhängigkeit oder Wechselwirkung mit der Mitwelt macht sich auf

die mannichfaltigste Weise geltend, theils durch die Ernährungsstoffe, theils durch die Sinne, theils durch die geistige Kommunikation der Mitwelt u. s. w.; alle diese Einflüsse bedingen also die Thätigkeit und demzufolge die Veränderungen und die Entwicklung des Geistes.

Geist und Organismus sind zwei sich gegenseitig bedingende Begriffe wie Kraft und Materie. Der Eine kann ohne den Anderen weder existiren, noch gedacht werden: auch ist der spezielle Geist eines Individuums das spezielle und augenblickliche Resultat der Kräfte dieses speziellen Organismus. Demzufolge giebt es keine Änderung des Geistes ohne eine entsprechende Änderung des Körpers und umgekehrt: Beide, Körper und Geist, können daher im Allgemeinen als völlig synonym angesehen werden*).

Diese unmittelbare und genaue Abhängigkeit zwischen Körper und Geist ist meines Erachtens für alle physiologischen Anschauungen von der grössten Wichtigkeit und es ergeben sich daraus erhebliche Folgerungen, unter Anderem folgende.

1) Wie wir unseren Geist als ein Einheitsprinzip empfinden; so müssen wir auch unseren ganzen Körper als einen vollkommen einheitlichen Organismus ansprechen.

2) Ausserdem müssen wir uns sagen, dass es keine, auch nicht die kleinste materielle Thätigkeit in unserem Körper geben kann, welche nicht unter der prinzipiellen Mitwirkung des Geistes vor sich ginge, dass also der Körper keine Veränderung irgend einer Art erleiden kann, ohne eine korrespondirende, äquivalente Veränderung des Geistes nach sich zu ziehen, und dass umgekehrt der Geist keine Veränderung erleiden kann, ohne dass eine entsprechende Veränderung des Körpers stattfände.

3) Wenngleich Geist das Resultat des animalischen Systems oder Organismus ist (wie Vegetation das Resultat der Zelle); so kann dieses Resultat doch nicht anders zu Stande kommen, als dass geistige Kraft in jedem Organe, also auch in jeder animalischen Zelle entfaltet wird, solange diese Zelle überhaupt einem animalischen Organismus angehört (wie jeder mineralische Bestandtheil einer Zelle Vegetationskraft empfängt).

---

*) Wer hieraus einen Schluss gegen die Unsterblichkeit ziehen wollte, würde einen grossen logischen Irrthum begehen. Aus obiger Ansicht folgt nur, dass ein Zerfallen des Organismus auch ein Verschwinden des Geistes zur Folge hat. Wie aber Geist weder die einzige, noch die höchste Naturkraft ist, wie ferner die Thätigkeiten der uns bekannten Naturkräfte weder die einzigen, noch die geistige Thätigkeit die höchste aller wirklichen Wechselwirkungen ist, welche die Gemeinschaft zwischen dem Einzelnen und dem All erhalten; so ergiebt es sich durchaus nicht als eine Nothwendigkeit, dass die Unsterblichkeit, d. h. die Fortdauer einer naturgesetzlichen Beziehung zwischen einem animalischen Systeme und dem Weltsysteme auf dem Prinzipe des Geistes beruhen müsste: im Gegentheil, der Rückblick auf die unter dem Thierreiche liegende Stufenleiter von immer höher und allgemeiner werdenden Grundkräften nöthigt uns zu der Annahme, dass sich diese Stufenleiter auch über dem Thierreiche fortsetze und dass die Gemeinschaft mit der Welt, welche nach dem Tode des Thieres stattfindet, auf andere uns unbekannte und überhaupt unerkennbare Prinzipien als die geistigen gegründet sei.

4) Wie eine Resultante sich von ihren Komponenten unterschei-:t und in sich die Gesammtwirkung aller Komponenten des Systems, so das einheitliche Ganze darstellt; so unterscheidet sich der Ge-ımmtgeist oder der individuelle Geist durch Selbstbewusst-·in von den geistigen Kräften der einzelnen Organe und Zellen, elchen Bewusstsein offenbar nicht zukommen kann, weil diese Eigen-haft das Verhältniss eines einheitlichen Ganzen zu seinen Theilen ısdrückt, also nur eine Funktion des Gesammtsystems oder eine entralfunktion sein kann. Einzelne Zellen und zusammen-esetzte Organe eines animalischen Körpers bekunden daher ı ihren Thätigkeiten geistiges Prinzip, d. h. ihre Thätigkeit ntspricht dem Einheitsplane des Gesammtorganismus, ohne ass damit Bewusstsein oder Erkenntniss oder Empfindung erbunden wäre.

In diesem und dem dritten Satze liegt unter Anderem der Schlüs-·l zu den wunderbaren Erscheinungen des Instinktes der Thiere und .enschen, welche uns desshalb so sehr auffallen, weil dieselben nicht auf ewusstsein oder Selbstbestimmung beruhen, sondern die Er-enntniss ihnen wie von einem unbewussten Faktum nachfolgt.

Ausserdem liegt darin der Schlüssel zu der formbildenden Kraft es kleinsten Organs, einer Kraft, welche unbewusst die geeigneten Nah-ıngsstoffe assimilirt und in eine dem Prinzipe des Organismus entspre-ıende Form bringt. Es erklärt sich also daraus auch das systemati-:he Wachsthum des Körpers ohne Einsicht und bewusste Thätig-eit des wachsenden Thieres.

Aus den vorstehenden Sätzen, insbesondere aus dem zweiten und er-en wird es begreiflich, wie die Aussenwelt, die Lebensweise, die Nah-ıngsmittel, die Beschäftigung, überhaupt die theils auf Selbstbestimmung, ıeils auf der Einwirkung äusserer Kräfte beruhende Thätigkeit des Kör-rs und Geistes nicht bloss einen, den speziell thätigen Theil des örpers, sondern alle Theile des Körpers oder den Gesammtkör-er nach einem gewissen Prinzipe umbildet oder den Verhältnissen ıpasst.

Es wird daraus auch verständlich, dass unter der Herrschaft des esammtsystems, also wesentlich unter der Herrschaft des Geistes sich einem animalischen Organismus Keime (resp. Eier und Samen) bilden, elche, wenn sie sich später entwickeln, eine so wunderbare Ähnlich-eit mit den Eltern selbst in den untergeordnetsten Theilen zeigen.

Wir haben gesagt, ein animalischer Organismus sei ein System, also ein Aggregat von Theilen oder konstituirenden Elementen, sondern n System von Komponenten. In jedem Hauptsysteme spielen die omponenten die Rolle von Dienern oder Werkzeugen, welche, jede in esonderer Weise, aber alle nach einem gemeinsamen oder einheit-chen Plane ihre Thätigkeit vollziehen. Demzufolge unterscheiden sich iese Komponenten einerseits durch eine gewisse Eigenthümlichkeit ler Ungleichartigkeit (No. 3) von einander, während sie andererseits ı ihrer Abhängigkeit von dem Gesammtorganismus als die auf ein leiches Ziel hin arbeitenden Werkzeuge erscheinen.

Die Zusammenfassung des komplizirten animalischen Organismus zu

einem einheitlichen und in hohem Grade selbstständigen und unabhängigen Systeme hat für die wichtigsten Funktionen Zentralapparate (Gehirnorgane) geschaffen und dieselben mit den äusseren oder peripherischen Körpertheilen, welche an jenen Funktionen irgendwie theilnehmen, durch Nerven verbunden. So hat der Verstand oder das Denkvermögen, das Bewegungsvermögen, jeder Sinn seinen Zentralapparat und sein peripherisches Nervensystem (das des Denkvermögens reicht nur vom grossen Gehirne bis ins Sensorium) und jede besondere Thätigkeit dieser Vermögen wird durch besondere Nerven geleitet. Die Beherrschung durch besondere Zentralapparate, welche unter sich im Gehirne und mit den peripherischen Organen durch die Nerven in Verbindung stehen, erscheint also als ein allgemeines Organisationsprinzip des animalischen Körpers. Aus dieser Wahrnehmung müssen wir den Schluss ziehen, dass eine so wichtige und so sehr der systematischen, einheitlichen Leitung bedürftige, auch auf alle übrigen Thätigkeiten zurückwirkende Funktion, wie die animalische Körperbildung einen Zentralapparat und ein peripherisches Nervensystem besitze.

Animalische Körperbildung ist keineswegs einfache Vegetation, wie gewöhnlich angenommen wird, sondern die von geistiger Kraft beherrschte Vegetation, welche wir Vitalität oder Lebenskraft genannt haben. Demzufolge nennen wir den Zentralapparat der animalischen Körperbildung den Vitalitätsapparat und das zugehörige Nervensystem die Vitalitätsnerven. Man wird erwarten, dass ich den Sitz dieses Apparates und das zugehörige Nervensystem nachweise. Ich erlaube mir jedoch zu bemerken, dass bis jetzt noch kein einziger Zentralapparat nachgewiesen ist, und dass Alles, was die Physiologie über die Zentralapparate weiss, nur auf ganz unbestimmten und höchst allgemeinen Annahmen beruht. Nur aus Prinzip halten wir uns für berechtigt, ein besonderes Verstandesorgan, einen motorischen Apparat, einen Sinnesapparat u. s. w. anzunehmen: die nämliche Berechtigung nimmt aber auch der Vitalitätsapparat in Anspruch. Dieser Apparat hat die Ernährung, die Assimilation und Sekretion, das Wachsthum, die körperliche Ausbildung, die Anpassung u. s. w. zu leiten. Viele hiermit im Zusammenhange stehenden Erscheinungen führen mich zu der Annahme, dass der Vitalitätsapparat seinen Sitz im Rückenmarke und dem unmittelbar daran stossenden Gehirntheile habe und dass das grosse, sich in so vieler Hinsicht als ein selbstständiges, eigenthümliches und den übrigen Thätigkeiten fremdes System sich darstellende sympathische Nervensystem oder Gangliensystem das peripherische Vitalitätssystem sei.

Weitere Ergebnisse dieser Anschauung werden wir im nachfolgenden Paragraphen darlegen.

§. 74.

Krankheit.

Wir haben im vorstehenden Paragraphen die Grundsätze der Orga- tion so weit aufzuklären gesucht, um daraus eine Einsicht in das We- der organischen Veränderungen und Körperzustände zu er- en. Den Impuls zu diesen Betrachtungen gab der in §. 72 erwähnte :druck des Auges in den verschiedenen Körperzuständen, insbeson- : in der Krankheit. Um die Abhängigkeit des Auges vom Krank- -sprozesse näher einzusehen, werden wir uns also vorher noch mit dem sen der Krankheit zu beschäftigen haben, und wenn wir hierbei ıs länger verweilen, als es in einer physiologischen Optik erwartet l; so geben wir uns der Hoffnung hin, dass die Besonderheit der An- ten und die allgemeine Wichtigkeit des Gegenstandes diese Ausschrei- g entschuldigen werden.

1. Bisherige Ansichten über Krankheit. Vor allen Dingen ımt es darauf an, das Wesen der Krankheit, d. h. die darin sich undende Tendenz, ihren Naturzweck festzustellen. Die gängigen stellungen von Krankheit beruhen meines Erachtens auf Irrthum. Die räuchlichen Definitionen lassen zwar häufig wegen ihrer Unbestimmt- keine sichere Vorstellung zu, wie z. B. die Erklärungen, wonach die nkheit der Gegensatz von Gesundheit oder eine Verstimmung Lebenskraft oder eine Störung des normalen Gleichgewich- der organischen Kräfte sein soll; allein die weiteren Ausführun- lassen doch erkennen, dass diesen unklaren Vorstellungen als wesent- stes Kriterium der Krankheit dasjenige Merkmal zu Grunde liegt, ches in anderen Erklärungen ohne Weiteres als das Wesen der Krank- hingestellt wird, indem diese Thätigkeit als ein Zerstörungs- oder setzungs- oder Auflösungs- oder Entartungsprozess, als eine rirrung der natürlichen Kräfte vom rechten Wege oder als eine ge- tsame Vertreibung derselben aus ihren natürlichen Bahnen, allgemein ein dem normalen Lebensprozesse feindlich gegenübertre- ıder Prozess aufgefasst wird.

Um nur eine Autorität anzuführen, so gelangt Henle in seiner ationellen Pathologie“ durch Zuhülfenahme einer besonderen ge- mnissvollen Kraft, der typischen Kraft, zunächst auf S. 97 zu dem ultate, dass Krankheit die Entfernung von der Norm, d. h. n derjenigen Gestalt sei, welche von der typischen Kraft ter den gewöhnlichen Bedingungen erzeugt wird. Hiermit offenbar weiter Nichts gesagt, als dass Krankheit nicht der nor- le Zustand sei, was keiner Deduktion bedürftig erachtet werden ın. Die naturwissenschaftliche Ansicht des Verfassers über das Wesen Krankheit geht erst aus dem Schlusssatze auf S. 105 hervor. Hier- h verändern in der Krankheit abnorme Einwirkungen die rm, die Substanz und die typische Kraft des Körpers, sie

führen ihn für längere oder kürzere Zeit oder für immer von dem Ziele ab, welchem er zustrebt. Der Krankheitsprozess ist daher die vom rechten Ziele abirrende Entwicklung.

Diese Auffassung des Wesens der Krankheit musste natürlich der Heilkunst ihre Richtung vorschreiben. Da der menschliche Körper im Zustande der Krankheit wie von einem Feinde seiner Gesundheit überfallen erschien; so war Nichts natürlicher, als dass die Medizin, um die gestörte Gesundheit wieder herzustellen, um den bedrohten Organismus zu retten, sich in die Lage versetzt glaubte, gegen feindliche Dämonen zu kämpfen, abwehrend, verjagend, zügelnd gegen dieselben einschreiten zu müssen.

Auch in Beziehung auf die Art und Weise, wie diese Abwehr zu führen sei, musste jene Auffassung der Heilkunst einen bestimmten Weg anweisen. Da die normale Lebenskraft von der feindlichen Gewalt als gestört oder besiegt erachtet wurde; so mussten die natürlichen Kräfte des Organismus als zu schwach gegen die feindlichen erscheinen. Demnach konnte nicht wohl darauf gerechnet werden, dass die natürliche Kraft ohne äussere Stärkung den Kampf siegreich bestehen würde. Hieraus ergab sich mit einer gewissen inneren Nothwendigkeit als wesentlichste Aufgabe der Medizin die Anwendung von Heilmitteln, als das direkteste Verfahren, den Körper zu den anscheinend abnormen Funktionen in den Stand zu setzen, welche er in jenem Kampfe zu verrichten hatte.

Mit dieser Auffassung des Wesens der Krankheit und mit diesem Grundgedanken hinsichtlich der Behandlung der Krankheit verband sich als eine unabweisbare Konsequenz die Annahme, dass die Krankheit nicht von selbst sich ein Ziel setze, dass der Krankheitsprozess vielmehr nur durch einen entgegenstehenden Prozess aufgehoben werde, und dass ohne eine solche Hülfe die Krankheit nur nach gänzlicher Zerstörung des von ihr ergriffenen Körpertheiles, also nach Erreichung ihres Zieles erlösche. Die Heilkraft der Natur war hierdurch prinzipiell ausgeschlossen.

Nachdem zahllose Beispiele sich als faktische Widersprüche gegen die letzten beiden Konsequenzen erwiesen haben, nachdem man in einer unabsehbar langen Erfahrung zu der Anerkenntniss gezwungen ist, dass die schwersten Krankheiten auch ohne Medikamente heilen und dass in unzähligen Fällen die Behandlung ohne wesentlichen Einfluss auf den Gang der Krankheit ist, ist zwar der Glaube an die letzteren beiden Sätze der Heilkunst erschüttert: ehe man sich jedoch entschlossen hat, den Grund dieser früheren Selbsttäuschung in der Falschheit der Vorstellung vom Wesen der Krankheit zu suchen, bemüht man sich in neuester Zeit, jene beiden Sätze mit der Erfahrung in leidliche Übereinstimmung zu bringen, indem man der Natur einige grossmüthige Konzessionen macht und den Widerspruch des Systems mit der Erfahrung in unbestimmten Vorstellungen und Ausdrücken verhüllt.

Man rühmt sich jetzt nicht unbedingt der Fähigkeit zu heilen, ja noch nicht einmal der Krankheit eine günstigere Wendung zu geben, wenigstens der verständige Arzt thut es nicht. Man räumt ein, dass die

tur das Beste thun müsse und dass die Aufgabe der Medizin nur in bestehe, der Natur zu Hülfe zu kommen, dieselbe zu unter- ıtzen. Hieraus ist eine erhebliche Beschränkung der Medikamente l ein expektatives Verfahren am Krankenbette entsprungen. Ob- ıl Beides in den meisten Fällen unschädlich und in vielen Fällen, ein Irrthum über das Wesen der vorliegenden speziellen Krankheit r über die Wirkung eines Medikamentes zu einer falschen Behand- g hätte führen können, sogar nützlicher als das Verfahren nach r wissenschaftlichen Doktrin ist; so entspricht dieses passive halten, dieses Laviren, indem es Unsicherheit in Zweck und Ziel ver- h, doch keinenfalls den Anforderungen der höheren Wissenschaft, welche ı stets auf Prinzipien stützen und in ihrer praktischen Anwendung tiv sein muss.

Die Annahme, dass in der Krankheit die Natur das Beste un müsse und dass man von Seiten der Medizin der Natur hierbei r zu Hülfe kommen könne, stützt sich immer auf die alte Ansicht, ıs der Körper in der Krankheit von einem nach Vernichtung seiner istenz strebenden Feinde heimgesucht werde und dass sich das in sei- n Organismus liegende Lebensprinzip diesem Feinde abwehrend gegenstemme. Wer macht, wer führt die Prozesse in einem Organis- s? Kann eine äussere Hand die innere Thätigkeit eines Organismus en, gleichsam wie ein Orgeldreher den inneren Mechanismus seiner Or- in Bewegung setzt? Niemand wird diese Frage bejahen. Alle Thä- keit im Körper geht also vom Organismus selbst aus, und da die nheit das wesentlichste, das bedingende Prinzip Dessen ist, was wir ganismus nennen; so steht Alles, was in einem Organismus durch in- re oder eigene Regungen geschieht, unter der Herrschaft einer ein- tlichen Gewalt. In der That bezweifelt wohl auch Niemand das Fak- n, dass der Krankheitsprozess durch den Organismus selbst, ht etwa durch äussere Kräfte geführt werde (wennauch die Ver- lassung zur Entstehung des Krankheitsprozesses eine äussere Kraft, B. eine Erkältung die äussere Veranlassung eines nach geraumer Zeit brechenden Nervenfiebers ist). Wie ist es nun denkbar, dass dieselbe aft sich selbst bekämpfe, dass sie gleichzeitig zwei prinzi- ell verschiedene Prozesse erwecke, dass aus derselben Quelle, dem ıeren Organisationsprinzipe, die Krankheit als Feind und der rmale Lebensprozess als Freund entspringe! Ich für mein Theil te eine solche Vorstellung von den Vorgängen in der Natur für ganz möglich. Jeder vitale Prozess im Körper ist in seinem Prinzipe ein ıiger, von einer einheitlichen Grundkraft getriebener. Es ın in der Krankheit kein Prozess erweckt werden, welcher dem anima- hen Organisations- oder Lebensprinzipe grundsätzlich zuwider wäre.

Zu der vorstehenden irrthümlichen Ansicht über den allgemein ndlichen Charakter eines Krankheitsprozesses gesellt sich nun noch vollständigste Unklarheit über den Zweck desselben und den Weg, lchen die Natur zur Erreichung dieses Zweckes einschlägt, überhaupt er das eigentliche Wesen der Krankheit. Demzufolge beginnt Hasse ne Abhandlung über das Wesen der Krankheit in Wagner's Hand- rterbuche der Physiologie mit der Erklärung, dass eine Untersuchung

über den Begriff der Krankheit zu den schwierigsten Aufgaben gehöre, welche an den Pathologen gestellt werden können, und dass keine Definition dieses Begriffes bisher zu einer relativ allgemeinen Anerkennung gelangt sei. Auch erfährt man aus dieser und anderen Abhandlungen, dass gewisse Hauptansichten über Krankheit seit dem tiefsten Alterthume sich periodisch ablösen, sodass, wenn die eine lange genug geherrscht und ihre Unzulänglichkeit bethätigt hat, wieder eine der bereits abgethanen hervorgezogen wird.

2. Wesen der Krankheit. Die im vorstehenden Paragraphen entwickelten Gesetze der Körperbildung führen auch zur Erkenntniss des Wesens der Krankheit. In No. 9 ist daselbst gezeigt, dass jedes Geschöpf vermöge der seinem Systeme innewohnenden Kräfte unter der Wechselwirkung mit der Aussenwelt (wozu auch die zu seinem eigenen Leibe verwandte Materie gehört) sich zu einem selbstständigen Ganzen konstituirt oder einen Beharrungszustand annimmt. Dieser Beharrungszustand ist weder ein Zustand relativer Vollkommenheit, noch ein Normalzustand, sondern der unter den gegebenen Umständen dauernd mögliche. Ein verstümmelter Mensch mit abgehauener Hand befindet sich nach der Heilung der Wunde so gut im Beharrungszustande, wie ein ganz vollständiger.

Die Thätigkeit, welche ein Geschöpf im Beharrungszustande entwickelt, ist Gesundheit.

Sobald die Bedingungen, unter welchen der gegebene Beharrungszustand gebildet war, nicht mehr erfüllt werden, was durch sehr viel verschiedene Veranlassungen, aber immer nur durch gewisse Einwirkungen der Aussenwelt geschehen kann, da das eigene System des Geschöpfes oder sein Lebensprinzip sich nicht gegen sich selbst kehren oder sich selbst widersprechen kann, wenn also der Organismus des Geschöpfes eine Abnormität erlitten hat, äussert sich ganz von selbst ein natürliches, nothwendiges Bestreben des fraglichen Systems, sich als selbstständiges Ganze zu bethätigen, oder in einem mit den gegebenen Bedingungen vereinbarlichen Beharrungszustand zu gelangen.

Die Thätigkeit, welche ein Geschöpf entwickelt, um in den Beharrungszustand zu gelangen, ist Krankheit. Die Abnormität, welche den früheren Beharrungszustand unmöglich macht und den Übergang in einen neuen Beharrungszustand erfordert, ist die Krankheitsanlage, welche stets von der Aussenwelt stammt. Zu dieser Aussenwelt ist übrigens auch die zur Verwirklichung des Systems gebrauchte Materie des eigenen Leibes zu rechnen. Die äussere Ursache, welche diese Abnormität oder Krankheitsanlage erzeugt, ist die Krankheitsursache.

Hiernach erscheint uns nun die Krankheit durchaus nicht als ein Feind, sondern als ein Freund und Wohlthäter, indem dieser Prozess keine andere Tendenz hat, als den Beharrungs- oder Gesundheitszustand herzustellen, oder das diesem Zustande entgegengesetzte Hinderniss, die Abnormität, zu beseitigen.

Die Veränderungen, welche bei dem Übergange eines Geschöpfes aus

einen in einen anderen Beharrungszustand vor sich gehen, betreffen als das dem Geschöpfe zu Grunde liegende System selbst: denn System ist etwas Absolutes, von Raum und Zeit Unabgiges, Unveränderliches, sondern nur die materielle Ausung oder die Erscheinung dieses Systems. Eine solche Veränng ist Metamorphose oder Umbildung (vgl. §. 73 No. 8).

Hiernach können wir in Beziehung auf die Mittel, welche die Nakraft ihrer Gesetze zur Erreichung des obigen Zieles in Anwendung t, sagen, Krankheit sei die Metamorphose des Körpers, che zum Übergange von dem unmöglich gewordenen Beungszustande in den möglichen vorgenommen werden muss.

Da der Krankheitsprozess eine ganz natürliche, d. h. eine aus den rgesetzen des Systems, welche dem Geschöpfe zu Grunde liegen, entgende Thätigkeit ist; so leuchtet ein, dass sie in Geschöpfen, wie den ren, wo mehr als eine Grundkraft thätig ist, sich in spezifisch hiedener Weise äussern wird, jenachdem dabei vornehmlich diese oder Grundkraft betheiligt ist. Im Übrigen stehen in jedem Geschöpfe iedrigeren Grundkräfte sämmtlich unter der Herrschaft der höchsten, im Thiere die Affinität und Vegetation unter der Herrschaft des tes (§. 73 No. 1 und 2), sind also trotz ihrer relativen Selbstständigdoch alle von jener höchsten Grundkraft abhängig.

Demgemäss steht in dem animalischen Körper jeder nkheitsprozess unter der Herrschaft des Geistes, und da es um eine Metamorphose oder Körperbildung handelt; so kann ur der in §. 73 No. 13 beschriebene Vitalitätsapparat sein, welals Zentralorgan diesen Prozess leitet. Die Krankheit erint mithin als eine Vitalitätsthätigkeit, welche vom Gee beherrscht wird, d. h. als eine Zentralthätigkeit, welche n den Gesetzen des Geistes eröffnet, geleitet und beschloswird. Dass mit dieser Gehirnthätigkeit kein Bewusstsein verbunund dass dieselbe nicht dem Willen unterworfen zu sein braucht, eht sich von selbst, da Bewusstsein und Wille spezielle geistige tionen sind, welche mit der animalischen Formbildung oder Vitalität ts gemein haben (§. 73 No. 1, 2 und 13).

Neben dieser allgemeinen Abhängigkeit aller Grundkräfte von der hsten Grundkraft des Systems macht sich nun die Selbstständigkeit r einzelnen Grundkraft durch gewisse Eigenthümlichkeiten geltend, he der Krankheitsprozess annimmt, jenachdem die Störung oder Abnität, welche ihn veranlasst, in die Sphäre der einen oder der anderen ndkraft hinaufreicht.

Betrachten wir den Vorgang zunächst in der Sphäre der Affinität. Krankheiten des Minerals entstehen, wenn die Beziehung des ers zum Ponderabelen in seinen Atomen einen ungewöhnlichen abnormen Impuls erleidet, also der Kosmetismus auf irgend Weise, z. B. durch Erwärmung oder Abkühlung oder Elektrisirung orm affizirt wird. Die alsdann erfolgende Metamorphose, welche das eral in einen neuen Beharrungszustand, z. B. in einen anderen Aggreustand oder in ein anderes Gefüge (Krystallzustand) oder auch nur in anderes Volum oder einen anderen Kohäsionszustand überführt, ist

die Krankheit des Minerals, welche wir *kosmetischen Krankhei* *prozess* nennen wollen. Wäre der Impuls heftig genug, sodass k neuer Beharrungszustand möglich wäre, was jedoch dann erst eintre kann, wenn der Kosmetismus vollständig überwunden, also der Äther v Ponderabelen *getrennt* wird; so erfolgt der Tod oder die *Auflösu* *des Minerals in die Urstoffe*. Ich muss mit Bezug auf §. 73 No ausdrücklich hervorheben, dass bei der Metamorphose oder Entwicklu der *Mineralien chemische* Trennung, Zusammensetzung und Mischu nicht in Frage kömmt: denn Zusammensetzung und Mischung sind kei Entwicklungs-, sondern Entfaltungs-, Schöpfungs- und Zeugungsakte u Trennung der Mineralsysteme ist ein direkter Vernichtungsakt. Wir hab es hier lediglich mit *Entwicklungsprozessen* zu thun, bei welchen d *System* ungeändert bleibt, sofern es überhaupt die *Existenzfähigke* behält.

Fassen wir jetzt die *Pflanze* ins Auge, also die *Zelle*, welche unt der Herrschaft der *Vegetationskraft* steht. Die störenden Einflüsse d Aussenwelt können wie bei den Mineralien die Beziehung des Äthers zu Ponderabelen, also den Kosmetismus in den *Mineralatomen*, sie könn aber auch die Beziehung der zur Zelle verbundenen *Mineralien* unte sich, also die *Affinität* derselben betreffen. Im ersteren Falle wir solange der Angriff eine gewisse *Grenze* nicht überschreitet, solang nämlich die Veränderung des Kosmetismus nicht so stark ist, um die Af*finität* der Atome abnorm zu beeinflussen, noch keine eigentliche *Meta**morphose der Zelle* eintreten, sondern es wird bei einer *Metamor**phose gewisser Mineralatome*, also bei dem *kosmetischen Krank**heitsprozesse* bleiben. Dieser Prozess reduzirt sich alsdann auf ein *modifizirte Thätigkeit* der Zelle, welche selbstverständlich einen *modifizirten Stoffwechsel* ohne bemerkenswerthe Veränderung de *Zelle selbst* zur Folge hat. Im zweiten Falle jedoch, wenn der Angriff direkt auf die *Affinität* der Mineralien geht, und auch im ersteren Falle sobald der Angriff auf den *Kosmetismus* der Mineralatome diejenige Grenze übersteigt, bei welcher gleichzeitig die *Affinität* wesentlich be-einträchtigt wird, erfolgt die *Metamorphose der Zelle* behuf Erreichung des neuen, unter den gegebenen Bedingungen möglichen Beharrungszu-standes. Dieser zweite ist der eigentliche oder *spezifische Krank**heitsprozess der Pflanzen*, welchen wir den *chronischen* *Krankheitsprozess* nennen.

Beim *Thiere* kommen die eben bezeichneten beiden Prozesse, also der *kosmetische* und der *chronische* Krankheitsprozess unter den leicht zu erkennenden Umständen vor. Der *kosmetische* Prozess, welcher die Metamorphose gewisser Mineralatome in gewissen Zellen, aber noch nicht die Metamorphose der Zellen selbst zur Folge hat, ist wirksam bei mässigen Störungen des *Kosmetismus*. Der *chronische* Prozess, welcher die Metamorphose gewisser Zellen, aber noch nicht die des ganzen animalischen Organismus selbst zur Folge hat, tritt ein bei mässigen Störungen der *Affinität* der Mineralien der betreffenden Zellen und bei starken Störungen des Kosmetismus gewisser Mineralatome in die-sen Zellen. Wenn aber die Störung direkt die *Vegetationskraft* der Zellen betrifft, oder wenn die Störung der *Affinität* so stark wird, dass

e Vegetationskraft erheblich beeinträchtigt, oder wenn die Störung ïosmetismus so bedeutend wird, dass sie eine sehr erhebliche trächtigung der Affinität und demgemäss eine Beeinträchtigung der ationskraft zur Folge hat, ist Metamorphose des Gesammt-nismus unter der Herrschaft des Geistes die unvermeidliche Folge. ›ser Thätigkeit besteht die eigentliche, spezifisch animalische Krank- ınd Diess ist der akute Krankheitsprozess.

Es ist klar, dass der kosmetische Prozess allmählich in den chroni- und dieser in den akuten übergehen kann und dass dieser Übergang vendig erfolgen muss, wenn der untere Prozess sein Ziel nicht er- t, also den Beharrungszustand nicht herstellt.

Das wesentliche Resultat der vorstehenden Betrachtung ist, dass ıkheit kein Zerstörungs-, kein Auflösungs-, kein Degene- ›nsprozess, überhaupt kein dem Organismus feindlicher :ess, vielmehr eine Thätigkeit ist, welche der Organismus em Zwecke entwickelt, sich von einer erlittenen Abnormi- ›der von einem feindlichen Angriffe zu befreien, also ein ırlicher Gesundungsprozess.

3. **Krankheitserscheinungen.** Die Anschauungen der vorher- nden Nummer, welche nichts Anderes sind, als die speziellen Ausfüh- en der in §. 73 vorgetragenen allgemeinen Gesetze der Körperbildung, rn die Erklärung aller wesentlichen Krankheitserscheinungen.

Bei der Metamorphose oder Umbildung des Körpers können nicht e Organe, ja nicht einmal ganze Zellen abfallen und durch neue zt werden; dieser Prozess kann vielmehr nur auf dem Wege des ffwechsels vor sich gehen. Beschleunigter und abnormer ffwechsel wird also eine allgemeine Krankheitserscheinung sein. esondere wird der ganze Krankheitsprozess in zwei Hauptperioden ıllen: in die Periode der Sekretion, wo Ausscheidung, Lockerung Gefüges, Trennung, überhaupt Aufhebung der bestehenden Verbindun- vorherrscht und in die Periode der Rekonvaleszenz, wo Neubil- g, also Assimilation vorherrscht.

Da der animalische Organismus ein einziges System, kein Aggregat Systemen wie die Pflanze ist; so wird jede Krankheit den Gesammt- anismus ergreifen. Ein neuer Beharrungszustand erfordert Umbil- g jedes Organs, wiewohl die Veränderung des einen erheblicher sein n, als die des anderen. Bei der Pflanze, wo das System nicht in der ammtpflanze, sondern in der Zelle liegt, ergreift die Krankheit nur enigen Zellen, welche abnorm affizirt sind, und wennauch die Er- økung einzelner Zellen die benachbarten abnorm affizirt und auf diese ise einen grösseren Theil der Pflanze in Krankheitszustand setzt; so ınen doch andere Theile der Pflanze davon ganz unberührt bleiben. So en wir den Zweig eines Baumes absterben und faulen, während andere eige in voller Gesundheit fortvegetiren.

Die Beherrschung des Krankheitsprozesses durch den Geist vermit- t des Gehirnes verleiht den Thätigkeiten der einzelnen Organe Ein- t und Zweckmässigkeit, welche durchaus nichts Anderes ist, als

die auf Herstellung eines Beharrungszustandes gerichtete Thätigkeit d im animalischen Organismus liegenden *Gesetze*.

Eine Haupterscheinung dieser Art oder ein allgemeines *Sympto* der (akuten) Krankheit ist das *Fieber*. Das Fieber ist entschieden ei *Nerventhätigkeit*, nämlich diejenige Thätigkeit der Vitalitätsnerv welche die Gebilde lockert und zur Sekretion befähigt und hierbei die a *Frost- und Hitzeschauer* bekannten *Erschütterungen* hervorbring Hiermit muss eine entsprechende Thätigkeit der das Herz und die Ader regierenden Nerven verbunden sein; das Blut muss in reichlicher Men den hauptsächlich umzubildenden Organen zuströmen, theils um d Sekretionsstoffe aufzunehmen und abzuführen, theils um die Assimilation stoffe zuzuführen. Irrthümlich erblicken manche Physiologen im Fieb eine *Krankheit des Blutes* und irrthümlich versetzen manche, di Humoralpathologen, alle Krankheitsthätigkeit in das *Blut* und die *Säft* während andere, die Solidarpathologen, alle Krankheitsthätigkeit in di festen Körpertheile verlegen. Dass die Einführung gewisser Substanzen in das Blut Fieber erzeugt, ist sehr natürlich, da das abnorm versetzt Blut eine Rückwirkung auf die Nerven ausüben muss; dieser Umstand beweist aber durchaus nicht, dass das Fieber im Blute seinen Sitz hab und noch weniger, dass das Fieber die Krankheit sei oder dass die Krank heit aus dem Blute entspringe.

Endlich ist klar, dass sich das Fieber nicht *nothwendig* mit *vermehrter Blutbewegung* zu zeigen braucht, dass es also Krankheiten wie die Cholera geben kann, wo der Pulsschlag schwach ist und welche man desshalb ohne hinreichenden Grund für *fieberlose* hält. Überhaupt muss ja, wenn die Blutzufuhr nach gewissen Theilen verstärkt wird, im Allgemeinen die Blutzufuhr nach den übrigen Theilen *vermindert* werden. Namentlich wird sich unter den letzteren Theilen in der Regel die *Oberfläche* des Körpers befinden, weil die schweren Krankheiten vorzugsweise diejenigen sind, wobei edele, also innere Organe leiden. Hieraus ergiebt sich die allgemeine *Blässe* als ein anderes gewöhnliches Symptom der Krankheit.

Aus der vom Gehirne ausgehenden *Zentralthätigkeit* und aus der unmittelbaren Verbindung aller *Zentralapparate* im Gehirne wird die *Mitleidenschaft aller Organe*, die *Appetitlosigkeit* und *abnorme Magenthätigkeit* in Folge der Nervenwirkung und Metamorphose des *Magens* (eine Erscheinung, welche sehr häufig fälschlich für eine primitive Magenverderbniss durch Speisen gehalten wird), ferner die allgemeine *Schwäche* in Folge der Wirkung auf den motorischen Apparat, die unsichere *Haltung*, die allgemeine *Reizbarkeit*, die *Verstimmung*, der *Ausdruck der Augen* und *des ganzen Gesichtes* sehr wohl verständlich.

Aus dieser Zentralthätigkeit wird ferner erklärlich, dass die *Sekretion* sich unendlich *verschiedene Wege* im Körper bahnen kann und dass sie momentan und lokal immer denjenigen wählen wird, wo die *Widerstände* die geringsten sind, dass sie also selbst in *derselben* Krankheit bald durch die Haut als Ausdünstung oder Schweiss, bald in die Eingeweide, bald in die Blase, bald in die Hoden, bald durch die Lunge als Husten, bald durch die Schleimhäute der Nase als Schnupfen

. w. sich Bahn bricht, wiewohl unter gleichen Umständen und im gemlichen Verlaufe gewisse Organe vorzugsweise auf bestimmten ›gen ihre Sekretionsprodukte abführen und auch hinsichtlich der ihenfolge, in welcher die verschiedenen Gebilde des Körpers zur ıptsekretion gelangen, im Allgemeinen eine Regel besteht.

Hiernach ist auch klar, dass einunddieselbe Krankheitsanlage je h den Umständen verschiedene Krankheitsformen erzeugen kann, s also die medizinische Nomenklatur nur eine Bedeutung für die Form , welche die Krankheit zeigt, nachdem sie ausgebrochen ist, dass sie r ganz bedeutungslos für die Krankheitsanlage ist und dass überpt aus der Krankheitsanlage nicht leicht ein Schluss auf die Form der stehenden Krankheit zu ziehen ist, indem diese Form zu sehr von beıderen Umständen abhängt, ja sogar die Krankheitsanlage ohne ute Krankheit sich heben kann.

Die im Fieber sich äussernde Nervenanstrengung behuf Umbildung Körpers kann sich nicht ununterbrochen mit gleicher Energie fortzen, ebenso wenig wie ein motorischer Nerv oder ein Muskel unausgeet thätig sein kann. Mit dieser Thätigkeit ist ja Stoffwechsel des thäın Nerven selbst, also Schwächung verbunden, welche die Fortsetzung Kraftentwicklung verbietet. Demzufolge erreicht jene Nerventhätig; nach gewisser Zeit ein Maximum, sinkt darauf auf ein Minimum ab, um sich nach angemessener Zeit und Erholung von Neuem zu eren. In jenem Maximum der Fieberthätigkeit findet auch ein ximum der Auflockerung und der Sekretion statt; dasselbe stellt ə Krisis in der Krankheit dar. In jeder Krankheit folgen diese periochen Erhebungen des Fiebers (namentlich nach dem Genusse von Speisen, che neue Kraft verleihen, auch beim Eintritte der Nacht, wo sensuelle l andere Nerven schweigen und die Vitalitätsnerven umso lebhafter in itigkeit treten) aufeinander und bilden eine Reihe von Krisen, che sich zu der Hauptkrisis, nämlich zu demjenigen Kulminationsıkte steigern, wo die zur Umbildung der Hauptorgane erforderliche sscheidung und Auflockerung vollbracht ist.

Dass das Verhältniss zwischen der Intensität der Krisen und der uer der kritischen Perioden sehr verschiedene Werthe annehmen kann, chtet ein, auch dass unter Umständen und ganz besonders im chroschen Stadium die Intensitätsmaximen sich so abflachen können, dass sich nicht empfindlich markiren. Dieser Verlauf heisst Lysis, ist r nur graduell, nicht prinzipiell von dem kritischen verschieden.

4. Entstehung und Folgen der Krankheit. Die Abnormität oder Krankheitsanlage muss erst einen gewissen Werth haben, ehe sie ute Krankheit erzeugt: geringere Abnormitäten werden durch den onischen Prozess und noch schwächere durch den kosmetischen Prozess ; gewöhnlichem Stoffwechsel beseitigt: die schwächsten äussern überıpt keine wahrnehmbaren Wirkungen auf die organische Thätigkeit.

Wiewohl das Sonnensystem ein rein mechanisches und ein gregatsystem ist, also keine genaue Vergleichung mit einem animachen Systeme zulässt; so liefern die darin vorkommenden Verändeıgen doch ganz gute Analogien zu den organischen Metamorphosen.

Die Gravitation erhält dieses System, nachdem die einzelnen Himmelskörper durch irgend eine Veranlassung bei der Schöpfung bestimmte Fortschritts- und Rotationsgeschwindigkeiten erlangt hatten, im Beharrungszustande. Denken wir uns plötzlich einen Planeten entfernt oder vernichtet (ein Glied des Organismus amputirt); so ändern sich die Bahnen, die Ebenen, die Umlaufszeiten, die Jahreszeiten, die Tageszeiten, die Axenstellungen, die Librationen, die Variationen, die Nutationen, kurz alle Bewegungselemente jedes Himmelskörpers; das ganze System erleidet also eine Metamorphose, durch welche dasselbe in einen neuen Beharrungszustand übergeht. Etwas Ähnliches tritt ein, wenn ein neuer Planet hinzugefügt würde oder wenn derselbe durch fremde Kraft, z. B. durch einen Kometen, einen Stoss erhielte. Würde durch irgend eine Veranlassung die Rotationsgeschwindigkeit eines Himmelskörpers vermehrt; so hätte Diess, wenn die Vermehrung nur schwach (die Krankheitsanlage nur gering) wäre, auf die übrigen Körper keinen namhaften Einfluss; es träte also noch keine Metamorphose des Systems, sondern nur ein vermehrter Druck des als flüssig vorausgesetzten Kernes jenes Körpers gegen dessen starre Rinde ein und hieraus entsprängen vorläufig nur gewisse Wirkungen auf das spezielle Leben dieses einen Körpers. Wenn aber seine Rotationsgeschwindigkeit über ein gewisses Maass gesteigert (die Krankheitsanlage wesentlich verstärkt) würde, müsste seine Rinde bersten und seine Abplattung an den Polen zunehmen. Diese veränderte Massenvertheilung jenes Körpers hätte aber unwiderstehlich eine Veränderung der Bewegungen aller übrigen Körper, also eine Metamorphose des Systems zur Folge. Bei genugsamer Steigerung dieser Rotationsgeschwindigkeit könnte die Masse des Körpers sogar zerstieben und mit dieser Vernichtung des Planeten eine grössere Metamorphose des Systems eintreten, ohne den Bestand dieses Systems (das Leben des Organismus) zu gefährden. Würde aber von dieser Affektion die Sonne betroffen, zerstöbe also der Sonnenkörper in Folge einer beschleunigten Rotation oder aus einem anderen Grunde; so würde das ganze System unmöglich werden (es würde der Tod des Organismus erfolgen), indem alle Planeten in verschiedenen Kurven davon eilten, um entweder von anderen Sonnensystemen angezogen zu werden oder selbstständige Systeme zu bilden.

Das Vorstehende giebt uns ein Bild von der Mannichfaltigkeit der Krankheitsanlage, der Krankheitsformen und der Folgen der Krankheit, obgleich in allen Fällen einunddasselbe Grundprinzip dabei thätig, die äussere Veranlassung aber eine andere ist.

Im Allgemeinen wird also die Krankheitsursache, d. h. der feindliche Eingriff der Aussenwelt, ehe die Krankheit zum Ausbruche kömmt, eine materielle Abnormität im Organismus schaffen, welche in einer abnormen Mischung, Kohäsion, Form, Dichtigkeit oder dergleichen bestehen kann. Übrigens kann unter Umständen diese Abnormität sich so rasch bilden und über die Grenze, welche den Ausbruch der Krankheit zur Folge hat, hinaus wachsen, dass dieser Ausbruch als die unmittelbare Folge der äusseren Thätigkeit oder Krankheitsursache erscheint. So kann z. B. eine Erkältung eine schwache materielle Abnormität erzeugen, welche vorläufig noch nicht zur Krankheit führt, sondern

unter späteren Einflüssen die Veranlassung zur Metamorphose giebt: iesem Falle könnte man sagen, die Krankheit sei aus der Krankteanlage hervorgegangen. In anderen Fällen kann aber die Erkäl- so stark sein, dass sie, wie ein heftiger Stoss, sofort die Metaphose einleitet: alsdann könnte man sagen, die Krankheit sei aus der nkheitsursache entsprungen. Im Wesentlichen unterscheiden diese beiden Fälle nicht, sondern nur im Formellen, nämlich nur wie sich in der Mechanik Arbeit oder allmähliche Entwickg von Stoss oder sehr rascher Entwicklung unterscheidet. llen Fällen hat der äussere Angriff oder die Krankheitsursache materielle Abnormität oder Krankheitsanlage zur Folge, he eher eintritt als die Metamorphose; man kann daher sagen, die nkheit entspringe unmittelbar aus einer materiellen Abnorät des Körpers.

Ansteckung und Wirkung der Kontagien und Miasmen, e auch Zerstörung einzelner Körpertheile spielen wesentlich die e plötzlicher Stösse.

Es kann nicht in unserem Plane liegen, die vielen möglichen Kranksursachen aufzuzählen; nur darauf wollen wir hinweisen, dass nach den en Anschauungen der Verlust oder die Beschädigung eines Gliethwendig Metamorphose, also Krankheit zur Folge haben muss, he sich denn auch im Wundfieber und in der Eiterung deutlich genug pricht. Ebenso ist klar, dass gewisse anscheinend ganz normale Thäiten, welche in der Umbildung wesentlicher Körpertheile bestehen, entlich wenn dieselben mit einer gewissen Energie oder Schnelkeit vor sich gehen, Krankheitserscheinungen im Gefolge n müssen, da sie ja wahre Metamorphosen sind. Hierzu gehört z. B. rasche Wachsthum, das Zahnen, die Schwangerschaft, das Gebären, die eitung des Milchprozesses, der Wechsel der Lebensweise oder des as, angestrengtes Denken und anhaltende Gemüthsaufregung wegen lamit verbundenen Umbildung des Gehirnes u. dgl.

Dieselben Gründe, welche nach §. 73 No. 9 bewirken, dass im Allgeen die Arten nicht vollkommen und rein aus dem Schoosse der r bei der Schöpfung hervorgehen, eben dieselben Gründe sprechen dafür, dass das Individuum nicht in normalem Zustande aus dem erleibe hervortritt. Diese natürlichen Abnormitäten führen meines htens zu den sogenannten Kinderkrankheiten, wodurch sie beseitigt len, und bewirken die grosse Sterblichkeit in den jüngsten Jahren.

Der feindliche Angriff oder die Krankheitsursache wird vorzugsweise enigen Organe eine Abnormität oder Krankheitsanlage zufügen, weldiesem Angriffe am wenigsten zu widerstehen vermag oder das relachwächste ist; auch wird offenbar im Krankheitsprozesse oder in Metamorphose dasjenige Organ, welches der Umbildung am schwächwidersteht, am meisten umgebildet werden. Das letztere Organ also vorzugsweise der Herd der Krankheit zu sein scheinen, ist nur ein Hauptentwicklungspunkt für die Sekrete der Krank- deren wahrer Sitz oder Anlage oft in einem ganz anderen ane wohnt.

Hieraus und in Betracht der systematischen Verbindung aller Organe

durch die Zentralapparate des Gehirnes, sowie in Berücksichtigung der bei der Metamorphose stattfindenden Zentralthätigkeit des Vitalitätsapparates erklären sich viele sonst unbegreiflichen Thatsachen, z. B. dass ein Angriff auf irgend ein Organ eine Krankheitsanlage in einem ganz anderen Organe (Erkältung der Hand eine Krankheitsanlage im Unterleibe) erzeugen kann, ferner, dass dieselbe Krankheitsanlage sehr verschiedene Krankheiten oder vielmehr Krankheitsformen annehmen kann, ferner dass sich der Hauptumbildungsprozess oder auch die Hauptentladung von Sekreten bei derselben Krankheitsursache, ja bei derselben Krankheitsanlage auf sehr verschiedene Organe werfen kann, endlich dass das Hauptentladungsorgan im Verlaufe derselben Krankheit oftmals wechseln, und zwar rasch wechseln kann (wie bei den Affektionen des Rheumatismus, dessen Anlage durchaus nicht in den affizirten Gliedern liegt).

Wenn Krankheit ausgebrochen ist, steht die erfolgende Metamorphose allerdings unter der Herrschaft des dem Organismus innewohnenden Systems von Kräften (insbesondere der geistigen Kraft); allein es ist ebenso klar als selbstverständlich, dass die Thätigkeit dieser Kräfte nur unter der Wechselwirkung mit denjenigen Kräften, welche die Metamorphose überhaupt veranlassen, vor sich gehen kann. Diese Wechselwirkung kann man den Kampf der Krankheit mit der Krankheitsanlage nennen. Das Ziel der Krankheit, der Beharrungszustand, hängt also in gewisser Weise von der Krankheitsanlage ab.

Ist nun eine Krankheitsursache dauernd wirksam, namentlich während des Verlaufes der Krankheit; so leuchtet ein, dass wenn die Krankheit wirklich ihr Ziel erreicht oder den Körper in Beharrungszustand versetzt, dieser Zustand von der Art sein muss, dass er der nämlichen Krankheitsursache fürs Erste, d. h. solange keine wesentliche Veränderung mit ihm vorgegangen ist, unangefochten trotzen kann. Hieraus erklärt sich die Thatsache, dass Niemand dieselbe Krankeit zweimal rasch hintereinader bekömmt, dass überhaupt Hauptkrankheiten selten und eventuell erst nach langen Pausen wiederkehren (z. B. Masern, Friesel, Pocken, Cholera, Nervenfieber, Lungenentzündung u. s. w.), besonders wenn die Krankheiten in Epidemien, also unter der fortwährenden Einwirkung von Kontagien überstanden sind (was übrigens mehr oder weniger auch bei jeder sporadischen Krankheit der Fall ist, weil in der Sphäre des Kranken immer das Kontagium wirksam ist), ferner dass Impfung und demzufolge Erzeugung einer spezifischen Krankheit (wie Blattern, Syphilis u. a.) vor gewissen Krankheitsursachen schützt.

Ob der in der Krankheit angestrebte Beharrungszustand, also die Genesung wirklich erreicht wird und wie dieser Beharrungszustand beschaffen sein wird, hängt natürlich von der individuellen Thätigkeit und Eigenthümlichkeit des der Metamorphose unterworfenen Organismus, von der Intensität und Beschaffenheit der Krankheitsanlage und von dem mitwirkenden Einflusse der Aussenwelt (Verhalten, Nahrung, Temperatur u. s. w.) ab. Es ist leicht zu erachten, dass obwohl der Beharrungszustand das Ziel ist, wonach der Organismus strebt, doch die Erreichung dieses Zieles unmöglich werden kann, und dass das Resultat ebensowohl in einem geschwächten und gebrechlichen, wie in einem

nisch siechenden Körper, wie auch in der gänzlichen Auflösung Systems, d. h. in dem Tòde bestehen kann.

Ebenso einleuchtend ist, dass mancher Organismus mit solchen Abnitäten in die Welt tritt, dass sich leicht schwere Krankheiten entceln. Wenn aber solche durch die Konstitution begünstigten Krankn wie Schwindsucht, Skropheln, Krebs u. s. w. den Körper Schritt Schritt zerstören; so ist doch die Anschauung, dass in diesen Kranksprozessen ein zerstörendes Prinzip liege, durchaus irrig: die in en Krankeiten sich aussprechende organische Thätigkeit strebt usgesetzt nach dem Beharrungszustande oder nach Heilung nach Besiegung des in der Krankheitsanlage gegebenen Feinder Gesundheit. Die Auflösung und Zerstörung mancher Organe jenem Prozesse ist ebenso wie die Zerstörung der Haut bei der orfbildung auf einer Wunde nur eine im Interesse der Genesung sich gehende Thätigkeit. Auch ist das in solchen chronischen Krankn unaufhaltsam zu Grunde gehende Organ fast niemals der Hauptder Krankheit: der Krebs z. B. bricht auch nach der Amputation des sigen Gliedes in derselben oder in anderer Form wieder aus und die genschwindsucht würde weder durch Exstirpation, noch durch malisirung der Lunge zu heben sein. Wo sich die Kraft des anismus als so unverhältnissmässig schwach zur eigenen altung zeigt, muss man auf Abnormitäten in denjenigen anen schliessen, von welchen das Grundwesen des Systems ächst abhängt, also in den Zentralorganen.

Übrigens drängt unsere Auffassung des Wesens der Krankheit als eben nach Selbsterhaltung zu dem Schlusse, dass es für jeden Orsmus einen Grad von Schädlichkeit der äusseren Einflüsse geben s, welchem er ohne Beeinträchtigung seines Beharrungszustandes wideen kann, oder dass es für ihn gewisse äussere Einflüsse geben s, welche ihn im Beharrungszustande erhalten. Hiernach wird es wahrinlich, dass jeder Organismus durch angemessenes Verhalten der Geburt an vor Krankheitsanlagen und demzufolge vor nkheit zu schützen sei, auch dass jede Krankheit in jedem anismus, wenn man lediglich ihre Qualität, nicht ihre Insität im Auge hat, heilbar sei, das dagegen jede Krankheit edem Organismus tödtlich werden muss, wenn die Kranksursache und demzufolge die Krankheitsanlage und alsn die Intensität des Krankheitsprozesses einen gewissen rth übersteigt.

5. **Wiederherstellung und Erhaltung der Gesundheit.** Eine he Ansicht von dem Wesen der Krankheit muss nothwendig zu einer hen Behandlung derselben führen. Solange die Medizin von der stellung ausgeht, dass die Krankheit ein Feind, ein Gegensatz der ndheit, ein Zerstörungs-, ein Degenerationsprinzip oder etwas liches und nicht vielmehr ein Streben nach Gesundheit, ein npf gegen einen äusseren Feind, ein natürlicher Gesungsprozess sei, wird sie sich immer mit dem Gedanken tragen, die nkheit beseitigen oder unterdrücken zu müssen. Aus dem

Obigen geht hervor, dass diese Bemühung im Allgemeinen eine ganz vergebliche ist: wenn der Beharrungszustand in Folge einer entstandenen Abnormität, einer hinreichend starken Krankheitsanlage unmöglich geworden ist, kann der Arzt das Unmögliche nicht möglich machen; der Übergang in einen anderen, den Umständen entsprechenden Beharrungszustand, also Krankheit ist alsdann unvermeidlich.

Dass Krankheit prinzipiell ein Gesundungsprozess ist und dass sich die Natur, d. h. die Kraft des Organismus, in dem zum Akutismus gesteigerten Prozesse durch die gewöhnlichen Mittel der Kunst, wozu ich besonders die Medikamente rechne, nur äusserst wenig beirren lässt, geht daraus hervor, dass von einundderselben Hauptkrankheit nahezu ebensoviel Menschen genesen, gleichviel ob sie ärztlich behandelt oder sich selbst überlassen gewesen sind; ja die verschiedenen medizinischen Schulen, welche sich gegenseitig der Verkehrtheit zeihen, müssen noch mehr darüber erstaunen, dass die Natur selbst einer falschen Behandlung mit namhafter Kraft Stand hält. Auch der Blick auf das kranke und ohne Hülfe wiedergenesende Thier, dessen Körper denselben Vitalitätsgesetzen unterliegt, wie der unsrige, zeigt uns die Krankheit als einen natürlichen Genesungsprozess. Wo fände sich auch ein Beweis für das Gegentheil? Dass eine Krankheit bei der Behandlung mit Medikamenten gehoben ist, rechtfertigt durchaus keinen Schluss für die Wirksamkeit der Medikamente: denn da dieselbe Krankheit in anderen Fällen auch ohne Medikamente gehoben wird; so kann man ebenso gut fragen, ob sie in diesem Falle nicht trotz der Medikamente gehoben sei.

Es scheint mir auch einleuchtend, dass eine Methode, welche darauf Anspruch macht, eine Krankheit zu beseitigen, weit eher im Stande sein muss, die Krankheit zu verhüten. Denn eine Thätigkeit unterscheidet sich von dem Vorstadium der Tendenz zu dieser Thätigkeit nur wie Arbeit von Kraft: dieselben Mittel, welche Arbeit vernichten sollten, müssen in einfacherer Form auch Kraft vernichten können. Da sich nun Medikamente völlig unfähig erweisen, den Ausbruch einer Krankheit zu verhüten, selbst in Fällen, wo eine ganz bestimmte Krankheit befürchtet wird, wie in Epidemien; so wäre es räthselhaft, wenn dieselben Mittel im Stande sein sollten, die ausgebrochene Krankheit zu unterdrücken.

Die faktischen Erscheinungen bestätigen nicht bloss unsere Ansicht über die Naturgemässheit der Krankheit zum Zweck der Selbsterhaltung, sondern lehren zugleich, dass sich eine akute Krankheit im Allgemeinen nicht unterdrücken lässt und dass überhaupt die Wirksamkeit der Kunst in diesem Stadium schwach ist. Nach dem Obigen kann es auch die Aufgabe der rationellen Medizin gar nicht sein, die Krankheiten zu unterdrücken, sondern die Krankheitsanlage zu beseitigen. Hierzu dient aber eben die Krankheit nach Naturgesetzen. Die Aufhebung der Krankheit würde einer Festhaltung der Krankheitsanlage gleichkommen, also entschieden naturwidrig sein.

Die Kunst kann sich nur die Aufgabe stellen, den Krankheitsprozess zu normalisiren, d. h. so zu lenken, dass er sein Ziel, nämlich die

seitigung der Krankheitsanlage wirklich erreicht, ohne visse relativ schwachen Organe mit zu grosser Intensität in Anuch zu nehmen.

Bei der grossen Komplizirtheit und Abhängigkeit der einzelnen Ore voneinander muss eine solche Beeinflussung des Krankheitsprosses innerhalb gewisser durch die Individualität und die Umstände ebenen Grenzen für möglich gehalten werden. Unzweifelhaft werden h Medikamente eine nützliche Wirkung dieser Art zu thun vermö, theils indem sie assimilirt und dadurch Theile des Organismus den, also seine Kräfte und Thätigkeiten mitbestimmen, ils indem sie durch ihre Berührung mit den Körpertheilen, insbesondere den Nervenspitzen Kraftäusserungen ausüben, welche sich der Vitalität, auch mit dem Krankheitsprozesse in Wechselwirng setzen, also dessen Resultat mitbedingen. Die letztere dynasche, nicht die erstere stoffliche Wirkung halte ich für die entlichste und vorherrschende Wirkung der Medikamente. In der nkheit ist es überhaupt nicht angezeigt, viel auf Assimilation zu men, da Sekretion überwiegend vorherrscht. Die rasche Wirkung Erbrechen, Abführung, Schmerzlinderung, sogenannte Umstimmung Nerven und ähnliche Thätigkeiten können nur der dynamischen kung der Medikamente zugeschrieben werden. Diese rasche Beeinsung des Krankheitsprozesses durch Stoffe, welche auf irgend eine ise mit dem Körper in Wechselwirkung gesetzt werden, sei es durch Magen, den Schlund, die Nase, die Haut u. s. w. wird übrigens nur ch die Annahme eines Zentralapparates für die Krankheitsthätig verständlich, indem hierdurch eine unmittelbare Verbindung er Körpertheile durch die korrespondirenden Zentralparate im Gehirne gestiftet ist.

Wiewohl wir eine nützliche Wirkung der Medikamente im Allgemei einräumen, sind wir doch der Ansicht, dass ihr Effekt bei intensi Krankheiten gering ist und dass überhaupt bei akuten Kranken die wesentliche Hülfe nur vom Organismus selbst, nicht von Kunst zu erwarten ist: denn in diesem Stadium ist eben eine Meorphose des Organismus unvermeidlich geworden; die ankheit kann also im Allgemeinen gar nicht künstlich beseit werden, und der Weg, welchen die Natur bei einem gesetzlichen zesse betritt, ist auch für den Gesammtorganismus in der Regel der te, und die dabei entwickelte Thätigkeit eine so energische und leich so eigenthümliche, dass Heilmittel dagegen ziemlich wirngslos bleiben.

Weit günstiger für die Kunst müsste es offenbar sein, wenn sie in die Lage gesetzt sähe, nicht die Krankheit, welche, wenn sie gebrochen, eine Naturnothwendigkeit ist, sondern die Kranktsanlage, welche eine Naturwidrigkeit ist, bekämpfen zu men, weil ihr alsdann der Organismus selbst seine Unterstützung t, während er dem Eingriffe in die Krankheit widerstrebt. Die ıst, welche diese äusserst praktische Aufgabe zu lösen hat, nenne ich itetik. Dieselbe findet nach Vorstehendem prinzipiell Anwendung dem Ausbruche einer akuten Krankheit, also im chro-

nischen und im kosmetischen Stadium. Da ihr Prinzip darauf gerichtet ist oder vielmehr bei richtiger Handhabung darauf gerichtet sein sollte, eine Krankheitsanlage zu beseitigen; so ist sie für akute Zustände keineswegs absolut ungeeignet, im Gegentheil, in vielen Fällen und ganz besonders im Stadium der Rekonvaleszenz nützlich: allein allgemein und grundsätzlich ist das chronische Stadium und die Zeit, wo sich überhaupt noch keine Abnormität bemerkbar macht, die rechte Zeit zur diätischen Bekämpfung der Krankheitsanlage.

Das Wesen der Diätetik finde ich in der Normalisirung der organischen Thätigkeiten. Nach unserer heutigen unnatürlichen Lebensweise läuft aber die Normalisirung meistens auf eine Steigerung gewisser vernachlässigten Thätigkeiten hinaus. Es ist hier nicht der Ort zu weitläufiger Detaillirung: nur in der Kürze bemerke ich, dass die wesentlichsten Thätigkeiten, welche bei der übergrossen Mehrzahl der Menschen einer Steigerung bedürfen und die entschiedenste Wirkung hervorbringen, folgende sind: die motorische Thätigkeit, befördert durch Turnen, die sensibele Thätigkeit, befördert durch Kaltwasserbäder (die wahren Turnanstalten für die sensibelen Nerven), die vegetative Thätigkeit oder die Thätigkeit der Vitalitätsnerven, befördert durch die reichliche Zuführung von frischer Luft, von Wasser und von Salz sowohl durch den Magen, als auch durch die Haut.

Wenn derartige allgemeinen Mittel sich wirklich gegen jede spezifische Krankheitsanlage wirksam erwiesen, also jede Krankheitsanlage zu beseitigen vermöchten, müssten sie auch geeignet sein, jede beliebige Krankheitsanlage zu verhüten: denn wie schon vorhin bei den Medikamenten bemerkt ist, muss Alles, was Anspruch auf Befreiung von einem Übel macht, sich auch als Schutzmittel dagegen bewähren. Und so ist es in der That. Die richtig gebrauchte Diätetik ist ein wirkliches Palladium gegen die Erzeugung von Krankheitsanlagen; sie ist das wirksamste Gegenmittel gegen jedweden feindlichen äusseren Angriff, gegen jede Krankheitsursache. Die Belebung der Thätigkeit eines Organs bewirkt vermöge der Unterstützung der allgemeinen Vitalität, dass eine darin erzeugte Abnormität eher daraus vertrieben wird, als sie sich zu derjenigen Höhe steigert, wo akute Krankheit unvermeidlich ist; dieselbe Thätigkeit gewährt aber auch aus demselben Grunde, nämlich wegen ihrer Unterstützung der allgemeinen Vitalität, dem Organe die nöthige Kraft, um einen mässigen feindlichen Angriff ohne erheblichen Nachtheil in seiner Konstitution zu ertragen.

Dass diese Sätze auf die Innehaltung eines gewissen Maasses beschränkt sind, ist einleuchtend: die Metamorphose in Folge eines Beinbruches kann nicht durch Turnen und Baden verhütet werden. Innerhalb natürlicher und durch die Individualität mit bedingten Grenzen leistet aber die Diätetik Wunder, welche bis jetzt durchaus nicht nach ihrem wahren Werthe gewürdigt sind. Als ich das Buch „Körper und Geist“ schrieb, auf welches ich hier hinsichtlich der näheren Ausführung mancher Gegenstände verweisen muss, beruhte meine Meinung über die Wirksamkeit der Diätetik zum grossen Theil auf theoretischer Anschauung. Wie

: übrigens diese Überzeugung war, geht daraus hervor, dass ich mei- eigenen Körper dem Experimente nach dieser Theorie dargeboten . Jetzt, wo ich seit länger als drei Jahren täglich im Freien ie und fast täglich, mit kurzen Unterbrechungen im Winter, e und zwar in allen vorkommenden Körperzuständen, habe ich früheren Ansichten praktisch und vollständig bestätigt ge- ten und immer mehr die Einsicht gewonnen, dass in der Diätetik wahre Heil der leidenden Menschheit liegt. Mit tiefem Be- rn sehe ich daher unzählige Menschen unter der Gewalt der Vorur- e und der Gewohnheit entweder in chronischen Leiden fortwährend en oder unter scheinbarem Wohlsein so lange Krankheitsanlagen an- neln, bis der akute Prozess unvermeidlich ist, während eine entspre- de Diätetik den Brustschwachen kräftigen, den Nervösen stärken, Gichtischen von seinen Schmerzen und Difformitäten befreien, ein aches Auge schärfen und ein krankes heilen, ausserdem aber einen n vor den Angriffen der Atmosphärilien, der Ansteckung, der Seuchen, geistigen Überanstrengung und überhaupt des einseitigen Gebrauches sser Organe thunlichst schützen würde.

Den Meisten wird diese Ansicht als Überspanntheit erscheinen: allein glaube, dass nur äusserst Wenigen ein Urtheil hierüber zusteht, es der übergrossen Mehrzahl und selbst der Schule an ihrung über die wahre Wirkung der Diätetik durchaus t und demzufolge diese Wirkung ganz und gar nicht be- nt ist. Denn die periodische und sporadische Zuflucht zur Diä- , besonders erst dann, wenn das Messer an der Kehle steht, ist entweder g nutzlos oder doch von geringem und bald vorübergehendem olge, ähnlich jeder sogenannten Bade- oder sonstigen Saisonkur, he lediglich als eine zeitweise Erleichterung zu betrachten ist.

Es schwebt ein Geheimniss um die Diätetik des Turnens und Badens: heisst Ausdauer und Anstrengung. Alle diätetischen Mittel baren ihre Heilkraft langsam und nur bei unausgesetztem und gischem Gebrauche. Demzufolge kann man vernünftiger Weise nicht in der Stunde der Noth zu ihnen flüchten, sondern die Zeit der sten Gesundheit ist die günstigste: eine entsprechende Diätetik ist haupt kein Gegenstand des vorübergehenden Gebrauches, ern der dauernden Lebensweise.

Im Übrigen ist es beachtenswerth, dass wennauch Vielseitigkeit der etik hinsichtlich der in Anspruch zu nehmenden Organe und hinsicht- der Art der zu erweckenden Thätigkeit dem vollkommensten Zustande pricht, doch auch bei mässiger Einseitigkeit des Verfahrens glän- le Erfolge erzielt werden. In Ermangelung des Wasserbades t auch die Gymnastik für sich allein schon äusserst effektvoll und selbst dann, wenn nur gewisse Hauptorgane dabei stark bethei- werden. Überhaupt ist Turnen das wesentlichste, wich- ste und erfolgreichste Stück der Diätetik.

Ist diese allgemeine Wirkung einseitiger Thätigkeiten nicht selhaft? Allerdings, aber nicht räthselhafter als die Thatsache, dass hanische Bewegung so gut wie ein kaltes Wasser- oder Luftbad Ess- t erzeugt, oder dass beim Eintauchen des von rheumatischen Schmer-

zen gepeinigten Körpers in das kalte Wasserbad plötzlich die Schmerzen schweigen. Wie ist es möglich, dass die Erregung der motorischen oder der sensibelen oder der Vitalitätsnerven den Magen so rasch zu der ihm eigenthümlichen Thätigkeit nöthigt, da doch die letztere eine ganz spezifische Thätigkeit besonderer Nerven ist und da doch der Magen mit den bewegten oder abgekühlten Gliedern gar nicht in direkter Nervenverbindung steht! Der Schlüssel zu allen diesen auffallenden Erscheinungen, insbesondere zu der Stärkung der allgemeinen Vitalität selbst durch einseitiges oder gewöhnliches Turnen liegt in der Annahme eines Vitalitätsapparates im Gehirne, denn ein solcher Apparat steht mit den übrigen Zentralapparaten in unmittelbarem Zusammenhange, wird also von jedem peripherischen Organe her und durch jede beliebige Nerventhätigkeit indirekt, nämlich durch Vermittlung des primitiv thätigen Zentralapparates in Mitthätigkeit versetzt. In diesen Erscheinungen, wie überhaupt in den Wirkungen der Diätetik finden wir demnach eine wesentliche Bestätigung unserer Ansichten über die Organisationsgesetze (§. 73 No. 13).

§. 75.

Projektion nach aussen. — Aufrechtsehen. — Fehlerhafter Orts- und Formensinn.

1. **Projektion nach aussen.** Durch die Erschütterungen, welche der als Lichtstrahl vibrirende Äther, indem er ein Stäbchen der Netzhaut trifft, in der Nervensubstanz erzeugt, wird ein oszillatorischer Prozess hervorgerufen, welcher in diesem Stäbchen beginnt, bei der Durchdringung der Netzhaut sich in gewisser Weise modifizirt und sodann durch die betreffende Nervenfaser nach dem Gehirne sich fortpflanzt. Auf den Grundeigenschaften dieses materiellen Prozesses beruhen unmittelbar nach Maass und Art die verschiedenen Eigenschaften des Lichteindruckes, welcher durch den Eintritt in das Gehirn zu unserem Bewusstsein kömmt. Die Intensität oder die Amplitude des oszillatorischen Nervenprozesses bedingt die Stärke des Lichteindruckes, der Chemismus oder allgemeiner die oszillirende Stoffgruppirung bedingt die Art dieses Eindruckes, d. h. die Farbe der Erscheinung (§. 65).

Nach Maassgabe der prismatischen Gestalt des Stäbchens muss sich in dem Erschütterungssysteme, selbst wenn die Stösse nicht sämmtlich der Axe dieses Stäbchens parallel wären, doch eine Bewegung in der Richtung dieser Axe vor allen anderen als ein stehendes Wellensystem (ähnlich einer Hauptvitrationsrichtung in den Klangfiguren mechanisch erschütterter Körper) ausbilden und eine bestimmte Affektion der Nervensubstanz des Stäbchens hervorrufen, welche wir erkennen. Das Erkennen dieser Bewegungs- oder Affektionsrichtung heisst mit anderen Worten das Empfinden des gegebenen Nervenprozesses in einer bestimmten Richtung oder das Sehen eines Objektes in einer

stimmten Richtung. Diese Richtung, in welcher uns das Objekt cheint, ist also durch die Richtung des affizirten Stäbchens angege- ı (§. 18 und 22).

Endlich muss auch, wenn das Stäbchen die äusseren Impulse oder ı Lichtreiz nicht ausschliesslich in axialer Richtung empfängt, son- n wenn dasselbe durch unendlich viele schräg gerichteten Strah- eines kegelförmigen Lichtbündels getroffen wird, ausser der n betrachteten axialen Komponente auch die Gesammtheit aller rmal darauf stehenden Seitenkomponenten eine bestimmte Wir- ng hervorbringen, indem hierdurch das Erschütterungssystem sowohl Stäbchen, wie in der Nervenfaser in seiner weiteren Besonderheit be- ıgt wird. Die Erkenntniss des Verhältnisses dieser Seiten- fektion zu der axialen Affektion giebt uns nun noch die rstellung von dem Orte oder vielmehr von der Entfernung, in wel- er die Empfindung des Lichteindruckes oder das Objekt zu liegen neint (§. 16 No. 7).

Da das letztere Verhältniss je nach den Umständen, insbesondere ch der Konvergenz des im Glaskörper liegenden Strahlenkegels sehr schiedene Werthe annehmen kann; so wird auch die Entfernung, in lcher wir ein Objekt erblicken, keinen festen, sondern einen sehr ver- lerlichen Werth haben, und es ist klar, dass die Erschütterung des chtstrahles nicht den Eindruck einer Empfindung machen kann, welche s im Stäbchen der Netzhaut zu liegen scheint, sondern den Ein- ıck einer in einem anderen Orte wirksamen Erregungsquelle. Für e Objekte, welche sich um mehr als 14 Millimeter vom Auge ent- nen, also für alle Gegenstände des gewöhnlichen Gesichtsraumes nvergirt der Strahlenkegel gegen die Netzhaut. Der scheinbare Ort er dieser Gegenstände liegt also ausserhalb des Auges und diese atsache ist es, welche man mit dem Namen der Projektion des Ge- htseindruckes nach aussen belegt. Dieser Name ist aus der irr- ümlichen Ansicht entstanden, dass die Seele mit dem Lichteindrucke e gewisse Verwandlung vornähme und gewissermaassen das im Ge- ne empfangene Bild des Objektes nach aussen verlege. Die Verlegung nn ebenso gut nach innen wie nach aussen erfolgen. Ein unmittel- vor der Hornhaut liegendes Objekt, welches im Glaskörper einen di- rgirenden Strahlenkegel erzeugt, muss hinter der Netzhaut zu gen scheinen, insofern die Reizbarkeit dieser Haut nicht durch so un- wöhnliche Strahlenbündel abnorm verändert wird. Freilich ist für so ne Objekte die Akkommodation des Auges sehr ungenau und dem- olge auch die Spannung der Netzhaut und das Urtheil über die Ent- nung von der normalen Beurtheilung sehr abweichend (§. 16 No. 9). besondere ist das Auge für so nahe Objekte zu weit akkommodirt und rdurch wird die Nerventhätigkeit dergestalt beeinflusst, dass das Ob- t zu entfernt erscheint. Diese Ungenauigkeit, in Folge deren so nahes Objekt doch vor der Netzhaut erscheint, ist aber ledig- ı eine Folge der Unvollkommenheit der Organisation.

Die Projektion nach aussen ist daher eine sehr begreifliche Er- einung. Es liegt überhaupt kein genügender Grund zu der Annahme , dass es naturgemässer wäre, eine Vorstellung an den Ort unseres

Körpers zu verlegen, wo die Peripherie dieses Körpers oder auch seines Nervensystems zuerst von dem äusseren Reize getroffen wird. Allerdings wird dieser Ort einen wesentlichen Einfluss auf jene Vorstellung haben, weil hier die unmittelbare Wechselwirkung zwischen der Aussenwelt und unserem Organismus stattfindet und diese Wechselwirkung durch die besondere Beschaffenheit des an jenem Orte befindlichen und zur Aufnahme des äusseren Reizes bestimmten Organs bedingt wird. Allein hieraus folgt doch nur, dass das letztere Organ vermöge seiner Beschaffenheit der aus dem Nervenprozesse sich entwickelnden Vorstellung gewisse Eigenschaften aufdrücken wird, welche mit der Beschaffenheit des fraglichen Organs in naher Beziehung stehen, nicht aber, dass unter diesen Eigenschaften nothwendig die sein muss, welche den vorgestellten Ort der Erscheinung in das empfangende Organ verlegt.

Die Beobachtungen, welche zu der Meinung verleiteten, dass der Anfangspunkt des Nervenprozesses oder der Angriffspunkt des äusseren Reizes der natürliche Ort sei, in welchem wir uns die aus diesem Reize entspringende Empfindung vorstellen müssten, sind aus den Erscheinungen des Gefühls entnommen, welches durch Druck, Wärme, Zersetzung entsteht. Diese Erscheinungen sind jedoch missverstanden worden und wir werden in §. 78 zeigen, dass sie prinzipiell auf ganz gleicher Basis beruhen und zu ganz ähnlichen Resultaten führen, wie die Gesichtserscheinungen.

2. Aufrechtsehen bei verkehrtem Netzhautbilde. Nachdem wir gefunden haben, dass das Auge den Sehprozess, welcher durch einen von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlenkegel erregt wird, wie eine Affektion empfindet, welche das affizirte Stäbchen in seiner Längenrichtung durchläuft oder wie eine Affektion, welche aus einer in dieser Axe liegenden Richtung von aussen her und zwar aus einer bestimmten Entfernung stammt, ist das sogenannte Aufrechtsehen, d. h. das Erkennen eines Objektes in seiner aufrechten Stellung trotz der verkehrten Lage des Netzhautbildes im Auge eine selbstverständliche Sache. Indem wir einen Gegenstand sehen, empfinden wir denselben an dem Orte, wo er wirklich ist, aber vermittelst der von ihm ausgehenden Lichtstrahlen und der davon getroffenen Netzhautorgane nach den obigen Gesetzen. Die gegenseitige Lage der unmittelbar getroffenen Netzhautpunkte oder das Netzhautbild beeinflusst zwar gewisse Eigenschaften dieser Empfindung, unter Anderem die vorgestellte Grösse und Form des Objektes oder die relative Stellung seiner einzelnen Theile zueinander: allein die Richtung, in welcher der vorgestellte Ort des Objektes oder vielmehr seiner einzelnen Theile liegt, ist lediglich durch die Richtung der affizirten Stäbchen bedingt.

Da die Stäbchen in einer konkaven Kugelfläche arrangirt sind; so muss die relative Stellung der affizirten Stäbchen offenbar die umgekehrte von der der leuchtenden Punkte sein oder das Netzhautbild muss eine verkehrte Lage haben, um zu einer richtigen Anschauung zu verhelfen.

3. Musivische Augen mit aufrechten Bildern. Die Verkehrtheit s Netzhautbildes ist eine nothwendige Folge der Konkavität der etzhautfläche. Diese Konkavität entspringt aber aus einem Organi- ionsplane, welchen die Natur bei der Einrichtung der Augen der höhe- n Thierklassen anscheinend nur zur Ermöglichung einer scharfen, ahrheitsgetreuen und möglichst kräftigen Affektion des Auges rch die Aussenwelt unter gleichzeitigem Schutze eines so feinen gans vor zu intensiven Wirkungen befolgt hat. Um den Lichteindruck ies Punktes möglichst kräftig zu machen, ist die Zulassung eines mög- hst grossen Bündels der von jenem Punkte ausgehenden Strahlen forderlich: da aber diese Bedingung an jeden Punkt des Gesichtsraumes stellen ist, und da zugleich das Auge Schutz bedarf, wenn dieses rahlenbündel zu intensiv würde; so ergiebt sich zunächst die Noth- ndigkeit, die Strahlenbündel aller Punkte durch eine einzige, mög- hst grosse und regulirbare Pupille ins Auge treten zu lassen. e Wiedervereinigung der von einem Punkte ausgehenden Strahlen einem Punkte auf der für das Licht empfindlichen Nervensubstanz thigt dann ferner zur Anwendung brechender Medien. Wegen der riabelen Entfernung und wegen der verschiedenen Brechbarkeit der nzelnen Farben, also wegen einer guten Akkommodation oder zur zielung möglichster Schärfe des Lichteindruckes sind endlich drei echende Medien mit Kugelflächen erforderlich, insbesondere eine in ihrer irkung vorwaltende Konvexlinse (§. 8 No. 20).

Dass behuf grösster Genauigkeit die empfindenden Nervenelemente dem Brennpunkte dieses Linsensystems liegen müssen, ist einleuch- d. Der Brennpunkt eines solchen Systems liegt hinter dem Kreu- ngspunkte der Hauptstrahlen. Die Nervenschicht oder die Netzhaut ss demnach eine konkave Kugelfläche bilden und wenn die Nerven- mente oder Stäbchen in der Richtung ihrer Längenaxe empfinden len, müssen sie als die Normalen auf dieser konkaven Fläche ammengestellt sein. Mit der Anbringung der Netzhaut hinter m Kreuzungspunkte ist dann unvermeidlich die verkehrte ellung des Netzhautbildes verbunden.

An und für sich ist die Stellung des Netzhautbildes etwas ganz Un- sentliches. Wenn bei den Säugethieren nicht die vorstehende grössere llkommenheit die Umkehrung jenes Bildes mit sich führte, könnte das- be auch aufrecht stehen. In der That findet Diess bei den niedrigeren ierklassen mit zusammengesetzten oder musivischen Augen tt, bei welchen der Plan so grosser Genauigkeit des Gesichtssinnes ht vorgelegen hat.

Fig. 510 (a. f. S.) stellt die Grundzüge eines solchen Auges dar. Die gelförmige Hornhaut ist in Facetten ab abgesondert. Jede Facette a ist s Anfangselement eines durchsichtigen Kegels ac, welcher an seinem neren Ende c in eine Nervenfaser cd übergeht. Die einzelnen Nerven- ern sind durch Pigment voneinander geschieden und vereinigen sich i d zu dem Bündel, welches als Sehnerv nach dem Gehirne führt.

Der Sehplan eines solchen Auges ist folgender. Die Strahlen eines n dem leuchtenden Punkte a (Fig. 511) ausgehenden Bündels werden im Eintritte in das hinter der Hornhaut bc liegende Medium so ge-

brochen, dass sie in einem Punkte d der gleichfalls kugelförmigen Fläche gh, in welcher die empfindenden Nervenelemente liegen, konvergiren. Da nur ein brechendes Medium vorhanden ist und da wegen der Härte aller Organe der Krustazeen und der meisten wirbellosen Thiere keine Akkommodation stattfindet; so wird die Konzentration des inneren Lichtbündels bei d unvollkommen sein, d. h. es wird sich im Allgemeinen ein Zerstreuungskreis bilden. Für eine bestimmte Entfernung wird die Konzentration am besten sein; die mit solchen Augen ausgestatteten Thiere werden also nur in relativ engen Grenzen der Entfernung scharf sehen können. Übrigens fehlt diesen Augen, trotz des Mangels an Akkommodation die Fähigkeit zur Erkenntniss der Entfernung des Punktes a keineswegs; denn diese Erkenntniss stützt sich, ebenso wie bei den menschlichen Augen nicht auf die Akkommodation, sondern auf das Konvergenzverhältniss der Strahlen in dem Bündel bdc oder auf das Verhältniss der Seitenkomponenten zu der axialen Komponente, womit das Nervenelement im Punkte d affizirt wird.

Fig. 510.

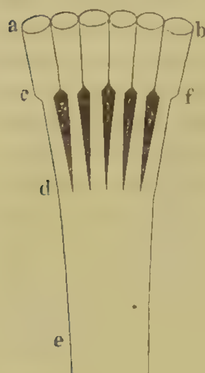
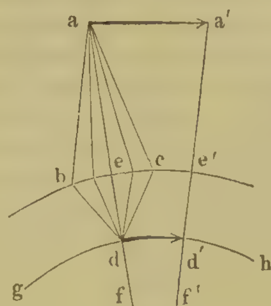


Fig. 511.



Es ist möglich und wahrscheinlich, dass die Grenzflächen der Facetten und Kegel, woraus das brechende Medium besteht, die von der Axe ad des Strahlenbündels stark abweichenden Strahlen bd, cd erheblich schwächen und endlich wohl gar ganz vernichten. Hierdurch wird die Aberration vermindert und die Schärfe des Gesichtseindruckes erhöht.

Wie der Punkt a sein optisches Bild in d entwirft, so erzeugt ein anderer Punkt a' sein Bild in d'. Das Objekt aa' liefert also in der Fläche gh ein aufrecht stehendes Bild dd'.

Diese Fläche gh vertritt die Stelle der Netzhaut und stellt eine konvexe Kugelfläche dar. Auf dieser Fläche stehen die vom Lichte zunächst affizirten Nervenelemente edf, $e'd'f'$ wie im menschlichen Auge normal und empfinden den Lichteindruck ebenfalls in der Richtung ihrer Axen.

4. Möglichkeit der verkehrten Erscheinung des Objektes. Es soll vorgekommen sein, dass Menschen die äusseren Objekte in verkehrter Stellung erblickt haben. Ruete führt in seiner Ophthalmologie S. 263 hierüber Folgendes an.

„Leidenfrost (vom menschlichen Geiste, S. 65) versichert, einen blindgeborenen Jüngling gekannt zu haben, welcher durch eine Augenentzündung das Gesicht erhielt und wirklich Alles verkehrt sah, bis er das Gegentheil durch Gewohnheit erlernte. Auch dem Verfasser (Ruete) sind Beispiele erzählt, dass Menschen durch Augenkrankheiten das Ver-

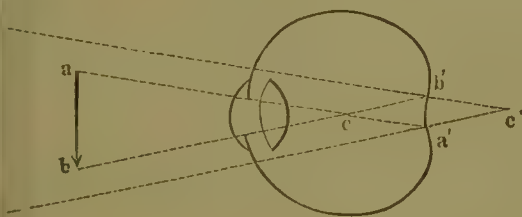
›gen, die Gegenstände aufrecht zu sehen, eingebüsst haben sollen; in-ssen ist ihm ein konstatirtes Beispiel der Art nicht bekannt. Szokalski ɔer den Einfluss des fünften Nervenpaares auf das Sehvermögen, im chiv für physiologische Heilkunde, 1849, S. 326) erzählt von einem :chaniker, dem, wenn er aufmerksam einen abgehenden Bahnzug mit m Blicke verfolgte, derselbe in der Ferne mit einem Male verkehrt er-ıien. Diese Erscheinung kam immer plötzlich, dauerte nur eine kurze ıt und ging ebenso rasch vorüber, sodass der Zug wieder aufrecht :chien. Dasselbe beobachtete er an anderen sich bewegenden Gegen-nden."

Ob diese Erscheinungen vollkommen verbürgt sind, muss zwar dahin stellt bleiben, inzwischen haben doch die Zweifel, welche sich lediglich f die Seltenheit solcher Erscheinungen stützen, nicht ein so erheb-ıes Gewicht, um das übereinstimmende Zeugniss mehrerer Beobachter, lchen doch die entsprechende Vorsicht bei ihren Untersuchungen zuge-ut werden muss, unbedingt zu verwerfen, solange nicht die Unmög-hkeit derartiger Vorkommnisse bündig dargethan ist. Liessen sich ɜr gar Zustände nachweisen, welche die Möglichkeit solcher Erschei-ngen unter den allgemeinen physiologischen Gesetzen des Sehens in sich ılössen; so würden jene Beobachtungen einen hohen Grad von Wahr-heinlichkeit annehmen.

Ich bin in der That der Ansicht, dass die verkehrte Erscheinung eines jektes zu den Möglichkeiten gehört. Die Bedingung dafür ist die, dass ɜ Netzhaut im Bereiche des Netzhautbildes eine konvexe ümmung annehme.

Ist nämlich in Fig. 512 $a'b'$ das auf gewöhnliche Weise zu Stande nmende Netzhautbild des Objektes ab; so werden, wenn die Fläche $a'b'$ konvex ist, die zwischen a' und b' liegenden Stäbchen, indem sie sich fest aneinander schliessen, ihre normale Richtung auf dieser Fläche beibehalten: sie werden also wie von einem hinter der Netzhaut liegenden Punkte c' kommend divergiren. Da die Axen der Stäbchen die

Fig. 512.



:htung bezeichnen, in welcher wir den Lichteindruck empfinden; so ·d das dem Stäbchen a' entsprechende Objekt in a'' und das dem bchen b' entsprechende in b'' zu liegen scheinen, das scheinbare jekt $a''b''$ wird also gegen das wirkliche ab die verkehrte ge einnehmen.

Hiernach handelt es sich, um die Umkehrung des scheinbaren Objektes bewirken, lediglich darum, der Netzhaut an der Stelle des Netzhaut-les dieses Objektes eine konvexe Krümmung zu ertheilen. Ohne künst-ıe Mittel mag Diess in einem normalen Auge unmöglich sein: es lässt ı jedoch nicht unbedingt leugnen, dass nicht gewisse Augen vorüber-ıend in einen solchen Zustand kommen können. So kann der von okalski berichtete Fall seine Entstehung dem Umstande verdanken,

dass die Netzhaut, indem das Auge sich allmählich auf eine grössere Entfernung akkommodirt, also sich verkürzt, in der Nähe des physiologischen Poles etwas stärker vortritt, als in einigem Abstande davon. Diess kann möglicherweise dadurch bewirkt werden, dass die Stelle, wo der Sehnerv eintritt, fester zurückgehalten und dass dieser ungleichmässige Widerstand erst allmählich überwunden wird. Unter solchen Umständen wird bei der Fixirung eines sich von dem Auge entfernenden Objektes in einer gewissen Entfernung eine scheinbare Umkehrung desselben erfolgen und in noch grösserer Entfernung wird die aufrechte Stellung wiederkehren. Die Plötzlichkeit des Wechsels zwischen diesen beiden Stellungen würde sich erklären, wenn man sich vorstellte, die Haut $a'b'$ verhielte sich, wie eine elastische Schale, welche zwischen der konkaven und konvexen Krümmung keine Gleichgewichtslage hat, also sprungweise aus der einen Wölbung in die andere übergeht.

Diese Ansichten finden eine weitere Stütze an dem nachstehend zu betrachtenden Gesichtsfehler.

5. Fehlerhafter Orts- und Formensinn. — Gross- und Kleinsichtigkeit, Krummsichtigkeit, Nebensichtigkeit und Schiefsichtigkeit. Da die Axe des Stäbchens der Netzhaut die Richtung angiebt, in welcher wir den betreffenden Punkt des Objektes erblicken; so ist klar, dass eine abnorme Stellung der Stäbchen das Objekt am unrechten Orte und in falscher Form erscheinen lassen wird. Die normale Stellung der Stäbchen verlangt, dass die Stäbchenschicht in einer um den inneren Knotenpunkt beschriebenen Kugelfläche liege und dass alle Stäbchen rechtwinklig auf dieser Fläche stehen oder als Radien nach dem Mittelpunkte derselben zeigen. Findet dieser Zustand in Folge eines abnormen Baues des Auges oder in Folge einer temporären Affektion nicht statt; so liegt ein Gesichtsfehler vor, welchen wir den fehlerhaften Orts-, resp. Formensinn nennen wollen, jenachdem derselbe zu einer Täuschung über den Ort oder über die Form des Objektes Veranlassung giebt.

Dieser Fehler kann so geartet sein, dass er in jedem Akkommodationszustande vorhanden, also für jede Sehweite ziemlich konstant ist; es ist aber auch möglich, dass er sich mit der Akkommodation verändert und nur für gewisse Akkommodationszustände oder beim Blicke auf gewisse Entfernungen merkbar wird. Der in vorhergehender Nummer besprochene Fall der verkehrten Erscheinung des Objektes in gewissen Entfernungen gehört offenbar zu diesen letzteren Spezialitäten des fehlerhaften Formensinnes.

Ebenso leuchtet ein, dass ein solcher Fehler von der Intensität des Lichtes beeinflusst werden und bei zunehmender Lichtstärke in stärkerem oder schwächerem Maasse auftreten kann.

Ist der Fehler in der einen oder anderen Weise veränderlich; so muss man der Thätigkeit gewisser Organe die wesentliche Schuld beimessen, indem alsdann die im Allgemeinen normal gebaute Stäbchenschicht induktorisch zu der fraglichen Abnormität genöthigt wird: ist der Fehler jedoch unveränderlich; so muss die Ursache in einem abnormen Zustande oder Formfehler des Auges gesucht werden.

In allen Fällen liegt die unmittelbare Ursache der fehlerhaften scheinung des Ortes oder der Form des Objektes in der falschen ellung der Stäbchen. Diese falsche Stellung kann zwar durch eine lere, primitivere Veranlassung erzeugt sein; allein nimmermehr würde e solche andere Veranlassung zur Erscheinung einer fehlerhaften Form :ren, wenn sie nicht den Stäbchen eine falsche Stellung verliehe. Denn ·h unserer Theorie (§. 18 No. 2) ist das Stäbchen dasjenige Nervenment, durch dessen Affektion die scheinbare Richtung (gegen den ·siologischen Pol und physiologischen Meridian) ausschliesslich bedingt (wie überhaupt jeder Sinneseindruck durch die Affektion der perierischen Sinnesorgane in seinen objektiven Eigenschaften bedingt l durch das Gehirn nur zum Bewusstsein gebracht wird; vergl. ·9 No. 3).

Diese Vorstellung von der Rolle, welche die Stellung der Stäbchen m fehlerhaften Orts- und Formensinne spielt, lässt sofort das Gesetz Abhängigkeit zwischen jener Stellung der Stäbchen und der bederen Erscheinung des Objektes erkennen. Beim fehlerhaften rmensinne kommen im Wesentlichen zwei Fälle in Betracht: die oss- oder Kleinsichtigkeit und die Krummsichtigkeit.

Es leuchtet ein, wenn innerhalb eines gewissen Bezirkes der Netzit die Neigung der Stäbchen flacher wird, wenn also die Krümıng der Netzhaut daselbst schwächer wird (wie es bei dem rtreten der Netzhaut geschieht), das in diesen Bezirk fallende Ob:t zu klein erscheinen muss, weil sich die Neigungswinkel aller Hauptahlen verkleinern. Umgekehrt wird das Objekt zu gross erscheinen, ın die Netzhaut sich stärker krümmt (also zurückzieht), indem lann die Neigungswinkel der Stäbchen gegeneinander sich vergrössern.

Wenn die Stäbchen aus der Ebene des grössten Kreises, chem sie angehören, abweichen; so hat Diess zur Folge, dass die bchen, deren Fusspunkte in dem Zuge eines grössten Kreises liegen, che also von den Strahlen einer geraden Linie getroffen werden, ihren Axen nicht in die Ebene dieses grössten Kreises, sondern in ɔ krumme Fläche fallen. Demzufolge wird eine gerade Linie umm erscheinen. Nach welcher Seite eine solche Linie konvex oder ıkav erscheint, hängt von der Art der Abweichung der Stäbchen ab, l es ist klar, dass wenn die äussere gerade Linie gedreht oder ver:ckt wird, die scheinbare Form der krummen Linie sich ändern l dass es im Allgemeinen (wennauch nicht immer) eine Stellung der seren geraden Linie geben wird, wo dieselbe gerade erscheint. Wenn 3. der ganze Bezirk des deutlichen Sehens vorrückt und sich dabei acht, indem das auf den physiologischen Pol fallende Stäbchen seine :htung beibehält, alle übrigen aber nach aussen hin und zwar in Weise gleichmässig abweichen, dass alle gleich weit von jenem Pole tehenden Stäbchen eine gleiche Abweichung haben; so wird eine gee Linie, welche fixirt wird, deren Netzhautbild also durch den phyɔgischen Pol geht, gerade erscheinen, jede nicht fixirte gerade ie aber, deren Netzhautbild also neben dem physiologischen Pole vorührt, wird krumm und zwar gegen den Pol konkav erscheinen.

Bewegt man also eine gerade Linie, indem man das Auge auf einen festen Punkt gefesselt hält, hinundher; so wird die Linie, wenn sie sich links von dem fixirten Punkte befindet, auf der rechten Seite konkav, und wenn sie sich rechts von jenem Punkte befindet, auf der linken Seite konkav erscheinen oder zwei Parallelen werden, wenn man einen zwischen ihnen liegenden Punkt fixirt, sich konkav gegeneinander krümmen. Ausserdem wird in allen diesen Fällen die Linie zu klein erscheinen.

Ist die abnorme Krümmung der Stäbchenschicht weniger regelmässig; so wird auch die Formveränderung, welche eine gerade Linie oder ein Parallelenpaar bei verschiedenen Drehungen und Verrückungen erleidet, eine unregelmässigere sein: immer wird man aber durch die Beobachtung dieser Form- und Grössenveränderungen die wirkliche Abweichung der Stäbchen ermitteln können.

Im Vorstehenden sind die Folgen der Abweichung der Stäbchen von der normalen Richtung betrachtet. Diese Abweichung bedingt den fehlerhaften Formensinn. Der fehlerhafte Ortssinn beruht auf der Verrückung der Stäbchen. Hinsichtlich dieser Verrückung kommen ebenfalls zwei Hauptfälle in Erwägung. Findet an einer Stelle der Netzhaut eine gemeinschaftliche parallele Verrückung der Stäbchen oder vielmehr eine Drehung derselben um eine Axe statt, welche auf dem nach jener Stelle der Netzhaut führenden Radius normal steht; so scheint das Objekt in Beziehung zu der Kopfaxe nach entgegengesetzter Seite sich zu verrücken, ohne seine Stellung gegen den Horizont und die Vertikale zu ändern. Diesen Fehler nennen wir Nebensichtigkeit. Findet jedoch eine Verdrehung der Netzhaut um den nach dieser Stelle führenden Radius statt; so scheint sich das Objekt nach derselben Seite um die Kopfaxe zu verdrehen, also gegen den Horizont und die Vertikale schief zu stellen: es findet alsdann Schiefsichtigkeit statt.

Dass die bei fehlerhaftem Ortssinne stattfindende Verrückung und Verdrehung des Sehfeldes eine scheinbare Ortsveränderung des Objektes in Beziehung zur Kopfaxe und zur Vertikalen zur Folge hat, obgleich doch bei dieser Verrückung des Sehfeldes das von einem Lichtkegel getroffene Stäbchen immer in der richtigen Axe dieses Kegels liegt, hat seinen Grund darin, dass die Stäbchen unmittelbar nur die relative Lage der in ihre Axe fallenden Strahlen, also die Lage der Objektpunkte gegeneinander und gegen den dem physiologischen Pole entsprechenden Punkt oder die Form der Objekte angeben, dass dagegen die Beziehung der Objekte zur Kopfaxe durch die Lage des physiologischen Poles und Meridians oder überhaupt durch die Lage des Sehfeldes gegen jene Axe bedingt ist (§. 11 No. 3, §. 18 No. 5 und 7 und §. 82).

Hiernach findet fehlerhafter Formensinn bei richtigem Sehfelde, aber falscher Axenrichtung der Stäbchen, fehlerhafter Ortssinn dagegen bei normaler Axenrichtung der Stäbchen, aber falschem Sehfelde statt.

Die beiden Ortsveränderungen können sich miteinander und

ch mit den beiden Formveränderungen kombiniren, um komplirte Erscheinungen hervorzubringen. Es ist in allen Fällen leicht, durch scheinbaren Veränderungen, welche ein Objekt in den verschiedenen ellungen erleidet, den vorliegenden Fehler zu spezialisiren und genau tzustellen. Hierbei bemerke ich, dass die Beobachtung dieser Erscheingen an einem Objekte nicht bloss ein sicheres, sondern auch das zige Mittel zur Konstatirung des fehlerhaften Orts- und Formensinnes und dass insbesondere die direkte Beobachtung der Netzhaut durch Augenspiegel hierzu ganz ungeeignet ist. Denn man muss vägen, dass der ganze Bezirk des deutlichen Sehens auf der Netzhaut r ein Millimeter Durchmesser hat und dass auf diesem kleinen Raume 0000 Stäbchen liegen, dass also sehr bemerkbare Orts- und Formverlerungen in der Erscheinung der Objekte nur mit äusserst ringen Veränderungen in der Stäbchenschicht verbunden sind. Beachman hierbei, dass jedes Stäbchen ein mikroskopisches Körpern und ausserdem durchsichtig ist; so darf man nicht erwarten, s der Augenspiegel die fragliche Fehlerhaftigkeit zeige.

Hierzu kömmt aber noch, dass selbst mit den wirksamsten ophen Hülfsmitteln doch einzig und allein diejenigen Abnormitäten in Netzhaut sichtbar gemacht werden könnten, auf welchen der fehlerte Formensinn beruht, weil diese Abnormitäten in Abweichungen Axen der Stäbchen von der normalen Richtung bestehen und wohl ner mit Krümmungsveränderungen der Netzhaut begleitet sind. Abnormitäten, auf welchen der fehlerhafte Ortssinn beruht, sind gegen absolut unsichtbar: denn hierbei sind alle Richtungen der bchen und Krümmungen der Netzhaut normal, nur das Sehfeld, ches selbst eine Kugelschale bildet, ist in seiner Kugelfläche verscho. Diese Verschiebung des Sehfeldes ist an keinem äusseren Merke zu erkennen, da sich weder das dem physiologischen Pole entsprende, noch ein dem physiologischen Meridiane angehöriges Stäbchen ch irgend ein Kennzeichen vor den übrigen auszeichnet. Das Sehd oder die Beziehung der einzelnen Stäbchen zur Kopfaxe ist ja glich durch die geometrische Beziehung bestimmt, in welcher die den bchen zugehörigen Nervenfasern an ihren zentralen Enden zum Gene stehen. Läuft nämlich die Faser des im geometrischen Pole Auges stehenden Stäbchens nicht zu demjenigen Punkte des Gehirnes, sen Affektion der Empfindung in der Kopfaxe entspricht; so gehört es Stäbchen nicht dem physiologischen Pole oder dem Mittelkte des Sehfeldes an, dieses Feld ist also verrückt.

Wir haben schon erwähnt, dass die Abnormität in der Richtung). Stellung der Stäbchen nothwendig ist, um den fehlerhaften men-, resp. Ortssinn hervorzubringen. Ständen die Stäbchen (und das feld) richtig; so wäre es unmöglich, dass eine abnorme Beschaffender Nervenleitung oder des Gehirnes jene Gesichtsfehler herbrächte. Hieraus muss man schliessen, dass die primitive Ursache er Fehler durchaus nicht in der Nervenleitung oder im Gehirne, son1 im Auge liegt. Die Wahrscheinlichkeit dieser Annahme wird noch ch die Veränderlichkeit des Fehlers im Verlaufe der Zeit bei selben Individuum erhöht. Wollte man die Ursache ins Gehirn ver-

legen; so müsste man die unnatürliche Hypothese machen, dass in Folge einer Affektion der zentralen Enden der Nervenfasern ihre peripherischen Enden oder die Stäbchen eine andere Richtung oder Stellung annähmen und dass unter gewissen Umständen die Gesammtheit aller Stäbchen um einen Punkt rotirte! Ein solcher motorischer Einfluss auf die peripherischen Enden würde nicht bloss aller Erfahrung im Nervenleben widersprechen, sondern auch wegen der Befestigung der Stäbchen in der Aderhaut kaum denkbar sein.

Weit plausibeler ist es, die primitive Ursache jener Augenfehler in die Aderhaut, insbesondere in die Jakobische Haut zu verlegen. Dass diese Haut elastisch, also dehnsam und kontraktil ist, lehren schon die Formveränderungen bei der Akkommodation. Ausserdem haben wir in §. 21 No. 7 die Beweglichkeit und Verschiebbarkeit der Stäbchen experimentell nachgewiesen und dabei zugleich den Effekt auf die Erscheinung des Objektes, nämlich das Grösser- und Kleinerwerden, das Krummwerden und die Orts- und Stellungsveränderung dargethan. Wir nehmen daher an, dass eine abnorme Affektion der Aderhaut die Stäbchen aus ihrer normalen Stellung treibt. Hieraus würde sich auch die Veränderlichkeit des Fehlers mit der Zeit und dem Befinden leicht erklären.

Gesichtsfehler der vorstehenden Art sollen besonders in tropischen Gegenden als variabele Krankheitszustände entstehen und vergehen. Hieraus wird es wahrscheinlich, dass die Intensität des Sonnenlichtes die äussere Veranlassung dazu giebt. Da schon bei uns die Lichtstärke der Sommersonne einen entschiedenen Einfluss auf die Pigmentbildung in der Haut hat und demzufolge die exponirten Flächen im Ganzen oder fleckenweise bräunt, da ferner diese Wirkung der Sonne auf die Haut in den südlichen Klimaten noch weit stärker hervortritt, sich auch in der Regenbogenhaut des Auges zeigt, indem die Südländer mehr schwarze, die Nordländer mehr blaue und graue Augen haben; so drängt sich die Vermuthung auf, dass die unter starker Lichteinwirkung etwa entstehende abnorme Pigmentbildung in der Aderhaut die mit ihrem freien Ende in diese Haut eingesteckten Stäbchen zu einer fehlerhaften Richtung und Stellung nöthigen kann.

Hiermit könnte denn auch leicht eine ungewöhnliche Verdunklung der affizirten Stelle verbunden sein, weil eine zu grosse Anhäufung von Pigment die zum normalen Nervenprozesse nothwendige Mitwirkung des Blutes verhindern würde. Auch könnte sich diese Anhäufung, ähnlich wie bei den Sommersprossen der Haut, auf gewisse Stellen konzentriren und dadurch dunkle Flecken im Gesichtsfelde erzeugen, wie es in der That vorkömmt.

§. 76.

Die psychologische Wirkung der Formen und Farben.

1. Physiologische und psychologische Wirkung im Allgemeinen. Unter physiologischer Wirkung eines äusseren Reizes ver-

he ich die unmittelbare Wirkung, welche der hierdurch erregte sen-
elle Nervenprozess im Sensorium äussert, also den Sinneseindruck.
s Sensorium betrachte ich als einen Apparat, in welchem die Ein-
ücke der Aussenwelt zum geistigen Eigenthume umgewandelt, also
weiterer Bearbeitung durch die höheren Seelenkräfte, namentlich durch
n Verstand und das Gemüth fähig gemacht werden (§. 83). Die
ztere Beeinflussung des Verstandes oder Gemüthes nenne ich die
ychologische Wirkung des in Rede stehenden Impulses.

Da die im Sensorium assimilirten äusseren Impulse oder die eigent-
hen Sinneseindrücke beim Eintritte in das Verstandes- und Ge-
thsorgan der Herrschaft der diesem Zentralorgane zukommenden be-
nderen Kräfte, d. h. den Gesetzen des Denkens und der Gemüths-
wegung unterworfen werden, unter welchen die Selbstbestimmung
er Freiheit eine wesentliche Rolle spielt; so werden jene Eindrücke
ihrer psychologischen Wirkung nicht bloss neue und eigenthüm-
ne Eigenschaften annehmen, sondern auch die mannichfaltigsten,
rch die Freiheit unserer Geistesthätigkeit bedingten Wirkungen und
scheinungen hervorbringen. Trotz dieser auf der Verwandlung in
elenthätigkeiten beruhenden Mannichfaltigkeit wird den psycho-
gischen Wirkungen ein gewisser Grundcharakter aufgedrückt sein,
lcher den physiologischen Grundeigenschaften der Sinneseindrücke
spricht, da diese Eigenschaften doch immer das zu verwandelnde
jekt bilden, also das Resultat der Verwandlung mitbedingen
ssen.

Aus diesem Grunde wird die Betrachtung der physiologischen oder
mittelbaren Wirkung der sensuellen Prozesse zwar durchaus nicht im
nde sein, die speziellen Gedanken und Empfindungen zu ent-
ern, welche ein äusseres Objekt in uns hervorruft; wohl aber wird die-
be gewisse allgemeinen Eigenschaften nachweisen können, welche
sen Gedanken und Empfindungen eigen sein müssen. Da nun ferner
sensuelle Nervenprozess dem äusseren Reize oder den Eigen-
aften des erregenden Objektes adäquat ist; so folgt ferner, dass
Seelenthätigkeit, welche aus der sinnlichen Wahrung entspringt, in
wissen Grundbeziehungen durch die Eigenschaften der wahr-
nommenen Objekte bedingt ist.

Ein jeder Sinneseindruck hat mehrere Haupteigenschaften, welche
in §. 83 No. 4 näher betrachten werden; die wichtigsten davon sind
rstellung und Empfindung. Von diesen beiden Eigenschaften
n bald die eine, bald die andere vorherrschen, fehlen aber kann
ine; sie bedingen sich nothwendig und machen erst in ihrer Zusam-
ngehörigkeit einen Sinneseindruck aus. Die Vorstellungen sind
eigentliche Material für den Verstand, die Empfindungen da-
gen für das Gemüth. Wie im Sensorium die Vorstellungs- und Em-
ndungsthätigkeit, so ist auch im Zentralgehirne die Verstandes- und
müthsthätigkeit das gemeinschaftliche Zubehör jeder Seelen-
itigkeit, wenngleich die eine vor der anderen vorherrschen kann.

Würde also durch irgend ein geeignetes Mittel unmittelbar ein
danke erzeugt; so würde sich auch eine Gemüthsregung daran
liessen, und würde umgekehrt eine Gemüthsbewegung erzeugt;

so würde sich ein Gedanke dabei einstellen. Im ersten Falle würde allerdings die Verstandesthätigkeit und im letzteren die Gemüthsthätigkeit vorherrschen: der Ausdruck vorherrschen sagt jedoch nur so viel, als dass die genannte Thätigkeit eine regelmässigere, bestimmtere, mit der erregenden Ursache in direkterem Verhältnisse stehende, auch wohl intensivere ist, als die andere, nicht aber dass diese andere Eigenschaft fehle. So erregt jeder Impuls auf einen anorganischen Körper mechanische und chemische Thätigkeiten in demselben. Die mechanischen Thätigkeiten werden allerdings am vollkommensten durch mechanische Impulse erregt; allein dieselben rufen immer auch die chemischen hervor und werden ihrerseits ebenfalls durch chemische Impulse indirekt erzeugt.

Hiernach muss jedes Objekt Gedanken und Gefühle erwecken, mag dasselbe durch das Auge oder durch das Ohr oder durch das äussere Gefühl auf uns einwirken. Der Grundcharakter dieser Seelenthätigkeiten wird durch die äusseren Eigenschaften des Objektes bedingt sein. Gewisse Eigenschaften des Objektes, nämlich diejenigen, welche prinzipiell Sinnesvorstellungen erwecken, werden prinzipiell Gedanken und sekundär Gemüthsbewegungen erzeugen und deren Grundeigenschaften bedingen; gewisse anderen Eigenschaften des Objektes dagegen, nämlich diejenigen, welche Sinnesempfindungen erwecken, werden prinzipiell Gemüthsbewegungen und sekundär Gedanken erzeugen und deren Grundeigenschaften bedingen.

Die erstgenannten Eigenschaften der Objekte, welche Vorstellungen und dadurch vornehmlich Gedanken erwecken, sind diejenigen, welche auf den quantitativen Verhältnissen beruhen, welche also den Raum zur Grundlage ihres Wesens haben, wie Form, Grösse, Lage, Richtung, Ort, Entfernung u. s. w. Die letzgenannten Eigenschaften der Objekte, welche Empfindungen und dadurch vornehmlich Gemüthsbewegungen erwecken, sind diejenigen, welche auf den qualitativen Verhältnissen beruhen, welche also die Qualität oder Art zur Grundlage ihres Wesens haben, wie Farben, Töne, Gefühle, Geschmäcke, Gerüche.

2. Wirkung der Formen. Da nach Vorstehendem die räumlichen Verhältnisse der optischen Objekte, insbesondere die Formen, zunächst Vorstellungen und dadurch Gedanken oder Verstandesthätigkeiten erzeugen; so werden die allgemeinen Eigenschaften der Formen der Objekte, z. B. das Grosse und Kleine, das Nahe und Ferne, das Gerade und Krumme, das Stetige und das Gebrochene, das Horizontale und das Vertikale u. s. w., also diejenigen räumlichen Grundeigenschaften, welche in stärkerem oder schwächerem Grade jedem speziellen Objekte zukommen, den durch das Objekt angeregten Gedanken gewisse allgemeinen Richtungen verleihen.

Es ist unverkennbar, dass der Anblick von vielen regelmässigen identischen Figuren, z. B. von vielen Kugeln das Verstandesorgan in besonderer Weise und in anderer Weise, wie der Anblick von lauter Dreiecken anregt. Die Betrachtung eines Gebäudes, eines Baumes, einer Maschine, eines Thieres, eines Menschen giebt unseren Gedanken eine be-

ıdere Richtung. Diese Richtung spezialisirt sich wieder nach der In-
ridualität des Objektes. Das griechische Gebäude mit seinen ausgebil-
ten Horizontallinien, das gothische mit seinen vertikal emporstrebenden
rmen, das romanische mit seinen Rundbögen regt die Gedanken in einer
sonderen, die Eigenthümlichkeit des Baustils ausmachenden
eise an. Die Fichte, die Eiche, die Weide, der belaubte und der ent-
ubte Baum wirkt vermöge seiner besonderen Form mit besonderer Kraft,
enso das Pferd, der Hund, der Vogel, der Fisch, jeder Mensch von
rschiedener Race, ja von verschiedener Nation und von verschiedener
lividualität.

Ich hebe nochmals hervor, dass es sich bei der hier in Rede stehen-
ı Wirkung der reinen, elementaren oder Grundformen nicht um
n eigentlichen geistigen Inhalt der Vorstellung handelt, welche durch
s Objekt erzeugt wird, sondern um die Art und Weise, wie diese
rstellung auftritt, oder um die Haupteigenschaften dieser Vorstel-
ıg, welche sich unbeschadet der Grundidee doch in mannichfacher Weise
difiziren lassen und dadurch die Richtung bestimmen, welche der an
e Grundidee sich anschliessende Gedankengang nimmt.

So kann ein Tempel in griechischem, in byzantinischem, in gothi-
ıem, in maurischem Stile dargestellt werden und in allen Stilen den
upteindruck machen, welcher der Bestimmung des Gebäudes entspricht:
ein jeder Stil wird diese Hauptidee in anderer Weise ausprägen, der
e wird die Gedanken mehr in eine realistische, der andere in eine kon-
nplative, der dritte in eine transzendente Richtung einlenken. Jeder
um erweckt in uns die Vorstellung eines Pflanzenorganismus: allein
Eiche markirt sich durch ihre Kraft, die Tanne durch ihre Schlank-
it, die Palme durch ihre Üppigkeit, die Akazie durch ihre Zierlichkeit
d regt demzufolge eine Gedankenreihe von besonderer Richtung an.

Die Malerei wirkt vornehmlich, die Plastik ausschliesslich durch
Form auf uns. Das Gemälde und die Bildsäule erzeugt zunächst eine
rstellung und einen Gedanken, sie regt unmittelbar das Denk-
rmögen an; die Wirkung auf das Gemüth ist die indirekte, wie-
hl das Gefallen oder das Angenehme, welches der Mensch bei Ge-
ithsbewegungen empfindet, häufig grösser ist, als die Befriedigung,
lche der abstrakte Gedanke, die Erkenntniss eines Gesetzes verursacht
d er demnach den Gemüthseindruck als den vorherrschenden empfin-
t, ja auch den Hauptzweck der Kunst in die Wirkung auf das
emüth legt. Demzufolge wählt der Maler und Bildhauer vornehmlich
lche Objekte zur Darstellung, welche geeignet sind, derartige Gedan-
n zu erwecken, an welche sich besonders gut gewisse Gemüthsbewe-
ıngen anschliessen. Direkt verschafft er uns jedoch immer nur Ge-
nken, keine Empfindungen.

Übrigens beruht die Wirkung der Malerei und der Plastik nicht auf
r Wirkung der reinen Form, welche wir im Vorstehenden besprochen
ben, ja diese elementare Form spielt noch nicht einmal die Hauptrolle
jenen Künsten. Das Wesentliche in dem Bilde und in der Bildsäule
die Individualität der aus den Elementarformen sich zu-
mmensetzenden Gesammtform, welche unmittelbar eine ganz be-
immte und vollständige Vorstellung erzeugt, und nicht etwa,

wie die Elementarformen nur eine allgemeine Gedankenrichtung erweckt.

Die Architektur dagegen wirkt nur durch die reine Form. Sie giebt keine bestimmte Idee, sondern nur eine Gedankenrichtung.

Die Art und Weise, wie die Besonderheit der Gedankenrichtung von der Besonderheit der betrachteten Form abhängt, ist unzweifelhaft ein interessantes Gebiet der Forschung; wir müssen uns jedoch hier mit der Andeutung des Gesichtspunktes begnügen.

In §. 83 No. 7 werden wir auf eine generelle Vergleichung der Künste zurückkommen.

3. Wirkung der Farben. Wie die Formen unmittelbar Vorstellungen und dadurch Gedanken, so erwecken die Farben unmittelbar Empfindungen und Gemüthsbewegungen. Durch Formen werden Gemüthsbewegungen, durch Farben werden Gedanken nicht unmittelbar, sondern erst indirekt auf dem Wege der Induktion erregt.

Übrigens ist klar, dass die Farbe an sich kein auf einem bestimmten Verhältnisse beruhendes spezielles Gefühl, wie Liebe, Muth, Stolz und dergl. erzeugen kann, dass hierzu vielmehr die Mitwirkung von Formen erforderlich ist, welche Vorstellungen und dadurch Gedanken erwecken und demgemäss die Gemüthsbewegung in ein konkretes Verhältniss eingrenzen. Die psychologische Wirkung einer Farbe kann vielmehr nur darin bestehen, dass sie das Gemüth in einer allgemeinen Richtung anregt oder eine gewisse Gemüthsstimmung erzeugt, welche sich natürlich mit sehr verschiedenen Affekten verbinden kann. So kann z. B. eine Farbe anregend oder anfeuernd wirken, das Feuer der Gemüthsbewegung ist aber nur eine allgemeine Richtung, eine Stimmung, welche sich an sehr vielen speziellen Affekten bethätigen kann; die Liebe, der Muth, die Bewunderung kann feurig sein.

Da der Mensch weder an der allgemeinen Richtung, in welcher ihn seine abstrakten Gedanken drängen, noch in der allgemeinen Stimmung des Gemüthes, sondern nur in der vollständigen Thätigkeit seiner Seele, also in konkreten Gedanken und Gefühlen seine volle Befriedigung findet; so ist es bislang kein Gegenstand der menschlichen Bemühungen gewesen, mit reinen oder allgemeinen Formen (ausser zu architektonischen Zwecken) oder mit Farben an sich bestimmte, selbstständige Effekte hervorzubringen. Aus diesem Grunde sind die Beobachtungen und die Erfahrungen über diese Wirkungen unvollständig und die Ansichten darüber unsicher. Ausserdem ist nicht zu leugnen, dass weil alle diese Wirkungen keine bestimmten Arten von Gedanken und Gefühlen, sondern nur solche allgemeinen Eigenschaften oder Richtungen betreffen, welche allen Gedanken und Gefühlen in höherem oder niedererem Grade zukommen können, und weil sehr leicht die allgemeine Richtung mit der speziellen Art der Seelenthätigkeit verwechselt wird, die Erkenntniss jener Wirkungen mit manchen Schwierigkeiten verknüpft ist.

Wenn ich die Regungen meines Gemüthes richtig beurtheile; so würde ich bei einer flüchtigen Musterung der Eindrücke glauben, dass die

·emeine Stimmung, welche durch die Hauptfarben hervorgerufen wird, ı etwa folgendermaassen andeuten lasse.

Licht an sich wirkt belebend, wogegen Mangel an Licht oder ıatten fesselnd, niederdrückend, ertödtend wirkt. Verstärkte Intenät einer Farbe erhöht ihre spezifische Wirkung, entspricht verstärkter ft; die mittleren Töne entsprechen der Ruhe und dem Ernste in jener ·kung, die ganz schwachen dem Mangel an Kraft. Eine reine Farbe ɔt den Eindruck des Reinen, Lauteren, Gesunden, Normalen, eine unne Farbe den Eindruck des Unreinen, Unlauteren, Ungesunden, Abmen, Widrigen.

Roth wirkt je nach den Nuancen aufregend, anfeuernd, entzündend, reifend. Orange wirkt erwärmend. Gelb wirkt aufregend, erregend, ·schneidend, scheidend, zersetzend. Grün wirkt kräftigend, erheiternd, munternd. Blau wirkt beruhigend, besänftigend, stärkend. Violet kt mässigend, niederdrückend, fesselnd. Weiss wirkt erkältend, erhternd, klärend. Sonnenlicht und Lichtglanz wirkt erwärmend, ebend, verklärend. Schwarz wirkt lähmend, fesselnd, ertödtend, verhtend. Grau wirkt mässigend, beruhigend, schwächend.

Da jede Gemüthsbewegung eine Thätigkeit ist; so kann man ihr sen in Bezug auf seine allgemeinen Eigenschaften mit den verschiede- Arten der mechanischen Bewegung vergleichen und demgemäss bildlich en, das Purpurroth entspreche der stürmischen, beschleunigten, emporgenden Bewegung, das Rosenroth der anmuthigen Bewegung, das nge der lebhaften, ansteigenden Bewegung, das Gelb der schnellen, ıngweisen Bewegung, das Grün der freien, ungezwungenen, hüpfenden vegung, das Himmelblau der leichten, schwebenden Bewegung, das igblau der ruhigen, sicheren, horizontalen Bewegung, das Violet der zögerten, gehemmten, absteigenden Bewegung, das Weiss der stetigen, ngen, regelmässigen Bewegung, das Schwarz der Bewegungslosigkeit, Ruhe, das Sonnenlicht der beschleunigten Bewegung. Die hellen Töne er Farbe entsprechen einer leichten, weniger kräftigen, die mittleren ıe einer ruhigen, die tiefen Töne einer kräftigen Bewegung.

Im Allgemeinen korrespondirt dem Hinaufsteigen im Farbenktrum vom violetten gegen das rothe Ende eine Steigerung der ätigkeit.

Von den einfachen Farben kann man nicht sagen, dass die eine r andere einen entschieden unangenehmen Eindruck mache. Im Allneinen kann man nur annehmen, dass die Mehrzahl der Menschen die ch Roth, Orange, Grün, Blau und Weiss erzeugte Stimmung der durch b, Violet und Schwarz erzeugten vorziehen. Die Wirkung einer einıen Farbe ist eine zu allgemeine, als dass dabei der Gegensatz von enehm und unangenehm hervortreten könnte. Das Angenehme, wie Unangenehme beruht nicht auf absolut einfachen Verhältnissen, dern auf der Konkurrenz gewisser Verhältnisse. So wirkt z. B. es, was die Thätigkeit beschleunigt, in den Fällen angenehm, wo Lebtigkeit natürlicher Zweck ist, dagegen in den Fällen unangenehm, Ruhe dieser Zweck ist.

Aus Vorstehendem folgt, dass angenehme und unangenehme Stimngen nur durch die Zusammenwirkung mehrerer Farben entstehen.

Eine Farbenzusammenstellung, welche die erstere Wirkung thut, ist eine harmonische, und eine solche, welche die letztere Wirkung hervorbringt, eine unharmonische.

4. Zusammenwirkung von Formen und Farben. Die reine Farbenwirkung wird nun auch durch die reine Form beeinflusst, womit sie sich verbindet. Denn nach der vorstehenden Nummer erzeugt die reine Form eine gewisse Gedankenrichtung und dadurch indirekt eine gewisse Gemüthsstimmung, welche sich mit der durch die Farbe direkt erzeugten Stimmung kombinirt. In dieser Stimmung besteht der spezifische Eindruck, welchen das Einfarbige und das Bunte, das Gestreifte, das Karrirte, das Wellenförmige, das Grelle, das Verwaschene, das Gefleckte u. s. w. macht.

Da die Vorstellung des Objektes induktorisch Gefühle erweckt; so ist klar, dass die Farbe des Objektes, da dieselbe schon an sich eine gewisse Gemüthsstimmung erzeugt, auch mit der vom Objekte zu erweckenden Vorstellung in prinzipmässiger Übereinstimmung sein muss. Formen und Farben müssen daher dem darzustellenden Gegenstande angemessen sein, d. h. sie müssen durch die von ihnen erzeugte Stimmung die Gefühle unterstützen, welche der vom Objekte erweckten Idee entsprechen. So würde es z. B. unangemessen sein, die Venus in eckigen, knöchernen oder in muskulösen oder in fetten Formen darzustellen: hier würden die reinen Formen dem Grundgedanken nicht entsprechen. Ebenso unangemessen würde es aber sein, diese Göttin mit einem schwarzen oder mit einem bunt karrirten Gewande darzustellen, weil eine solche Farbenwirkung eine der Idee nicht angemessene Stimmung erzeugen würde.

Im Allgemeinen wirkt, wie schon vorhin bemerkt, die Malerei durch Formen, also direkt auf Vorstellungen und indirekt auf Gefühle. Das Farbenkolorit, wenngleich etwas Sekundäres und darum im Kupferstiche auch ganz Fehlendes, unterstützt die Wirkung der Formen, indem dasselbe direkt Gemüthsstimmung erzeugt. Für einen Zweig der Malerei, wo die individuelle Form mehr zurücktritt, gelangt das Kolorit zu vorwiegender Herrschaft: Diess ist die Landschaftsmalerei. Durch die Landschaft wird im Bilde wie in der Natur direkt kein bestimmter Gedanke, sondern eine Gemüthsstimmung erweckt, und demgemäss ist die Beleuchtung der Landschaft von so wesentlichem Einflusse auf ihre Wirkung. Dieselbe Landschaft bei trübem Wetter, bei Regen, bei Sonnenschein und bei Schnee macht einen wesentlich verschiedenen Eindruck.

Ein Zweig der Kunst, welcher lediglich durch Farben wirken wollte, ist nicht kultivirt, obwohl man nicht sagen kann, dass Diess kein erfolgreicher Gegenstand der Bemühung wäre. Ein Jeder empfindet den unmittelbaren Einfluss, welchen das Licht und die Farbe äussert. Jenachdem die Sonne unser Zimmer erleuchtet oder, von Wolken bedeckt, uns in schattiges Grau hüllt, jenachdem sich das röthlichgelbe Kerzenlicht darin ergiesst oder nächtliche Finsterniss sich darin verbreitet, jenachdem Bäume einen grünen Schein hineinwerfen oder ein glühender Abendhimmel rothe Strahlen sendet, jenachdem die Wirkung durch die natürliche Farbe der Wände beeinflusst wird, jenachdem die Beleuchtung sich in

:iger Kraft oder in allmählich verlaufenden Wechseln, oder flimmernd, :ernd sich äussert, erwachen in uns eigene, erheblich voneinander abchende Stimmungen.

Da die reine Farbenwirkung kein Gegenstand praktischer Bemühung Menschengeschlechtes gewesen ist; so sind die Erfahrungen in diesem biete mangelhaft und die Ansichten darüber unsicher. Die Aufklärung d noch durch die Mitwirkung der Form erschwert, da sehr leicht e Wirkung, welche lediglich der Form oder welche der Konkurrenz Form und Farbe zukömmt, der Farbe allein zugeschrieben rden kann. Die sogenannte Farbenlehre kann daher nicht ohne ichzeitige Begründung der Formenlehre studirt werden.

Hierbei kömmt ferner das Verhältniss der Form und Farbe zu der ee oder zu der Individualität des Objektes in Betracht. Eine sammenstellung von Formen und Farben kann an sich unangenehm ken und dennoch dem durch das Objekt erregten Gedanken völlig gemessen sein. Soweit die Kunst zu ihren moralischen Effekten h das Böse und Niedrige darzustellen hat, muss sie auch die mit die- unangenehmen Gemüthsbewegungen korrespondirenden, also an sich ngenehmen Formen und Farbenzusammenstellungen in Anwendung ngen. Ein Mörder darf nicht in dem Rosagewande der Unschuld ein-gehen: für seine Kleidung eignen sich grelle und unharmonische Far-. Demgemäss sind unharmonische Formen und Farben rum nicht unkünstlerisch, weil sie unangenehm wirken, und gekehrt ist nicht Alles was künstlerisch ist, an sich harmoch oder angenehm wirkend.

Auch macht sich bei der Beurtheilung der Wirkung reiner Formen Farben auf das Gemüth die Individualität des Beschauers in gewissem de geltend. Wie die Neigungen der Individuen durch natürliche age und Gewohnheit verschieden sind, so sind auch die Wirkungen Formen und Farben mehr oder weniger von gewissen Eigenthümlichten des Organismus abhängig. Hierin beruht die Vorliebe der einzelnen aschen, ja ganzer Stämme und Völker für gewisse Farben und Formen. den Europäer ist Schwarz für den Neger Weiss die Farbe der Trauer. Europäer hält einen schwarzen, der Neger einen weissen Menschen für lich. Man kann also nicht für jede Spezialität von Formen- und Farbenmmenstellungen einen konstanten Effekt auf das Gemüth für Jedern in Anspruch nehmen.

Endlich kömmt in Betracht, dass bei der Konkurrenz so vieler Elete von Formen und Farben durch eine gleichzeitige Variation aller nente häufig verwandte Effekte hervorgebracht werden können. n und Blau giebt in der Regel keine angenehme Farbenzusammenung; im karrirten schottischen Gewande spielen jedoch diese beiden ben oftmals eine Hauptrolle, ohne dass man die Wirkung unangenehm t.

Dessenungeachtet kann man behaupten, dass jede besondere Formen- Farbenzusammenstellung in jedem Individuum eine besondere Stimg erzeugt, wenngleich der Unterschied zwischen den Wirkungen zweier chiedenen Zusammenstellungen zuweilen sehr gering und auch die

Intensität dieser Stimmung gegen andere Wirkungen des Objektes öfters sehr schwach ist.

So bringt unzweifelhaft das Lesen desselben Satzes in lateinischen Schriftzügen eine andere Stimmung hervor, als in deutschen, wiewohl der Antheil, welchen dieser Effekt an der durch den Gedanken des Satzes erregten Gemüthsbewegung nimmt, meistens gering ist und nur durch die Unbedeutenheit des Gedankens zu verstärkter Wirkung kommen kann. So würde ich glauben, dass die lateinischen Schriftzüge zu einer eleganten, die deutschen zu einer steifen Darstellung besser passten.

Das Nämliche gilt von der hörbaren Sprache. Derselbe Gedanke lässt sich durch viele Sprachen ausdrücken. Eine jede affizirt aber die aus dem Gedanken entspringenden Empfindungen in besonderer Weise und bildet eine, wennauch kleine Komponente zu der resultirenden Gemüthsbewegung. Demnach wird auch die eine Sprache sich besser zu dieser, die andere besser zu jener Rede- und Gedankengattung eignen.

§. 77.

Das Gehör.

1. Allgemeine Erregung und Beschaffenheit des akustischen Nervenprozesses. Um aus unseren physiologisch-optischen Betrachtungen einige allgemeinen Resultate über die Prinzipien, welche der Sinnesthätigkeit zu Grunde liegen, ziehen zu können, scheint es mir nützlich, im Nachstehenden zuvor meine Ansichten über die hauptsächlichen Eigenschaften der übrigen Sinne zu entwickeln.

Das Gehör hat insofern eine gewisse Verwandtschaft mit dem Gesichte, als der äussere Reiz, welcher diese Sinnesnerven affizirt, ebenfalls in Vibrationen besteht. Während jedoch für den Sehnerven die Vibrationen des Äthers die bewegende Kraft darstellen, sind für den Gehörnerven die Vibrationen des Ponderabelen, welche sich durch die Luft zunächst dem Trommelfelle mittheilen, die Motoren.

Wie bei dem optischen, so kommen auch bei dem akustischen Nervenprozesse zunächst die äusseren räumlichen oder die quantitativen Verhältnisse, also die Zahl und Lage der affizirten Nervenfasern und die Verhältnisse der Komponenten des Angriffes in Betracht: auf diesen räumlichen Verhältnissen des Nervenprozesses beruht die Vorstellung von den räumlichen Verhältnissen des Objektes.

Alsdann kömmt die Art und Weise oder die Qualität des Prozesses in Erwägung: hierauf beruht die Empfindung der besonderen Art der Wirkung des Objektes, d. h. sein Ton.

Endlich ist die Intensität des Nervenprozesses wichtig, weil dieselbe der Stärke des Tones entspricht.

Wie jedes Objekt, wenn sein Äther erschüttert wird, optisch durch das Licht wirkt, so wirkt jedes Objekt, wenn sein Ponderabeles erschüttert wird, akustisch durch den Schall auf unsere Sinne und erzeugt dadurch in uns eine Vorstellung über seine räumlichen Ver-

tnisse (Ort, Ausdehnung, Form u. s. w.) und eine Empfindung von em natürlichen Tone (welcher der natürlichen Farbe adäquat sowie von seiner Schallstärke (welche der Lichtstärke parallel t).

2. **Funktionen der einzelnen Gehörorgane.** Zu einer vollstän-n Darlegung der physiologischen Akustik würde eine genaue ntniss des Baues und der Funktionen der einzelnen Organe des s nöthig sein. Der Bau des Ohres ist zwar einigermaassen in seinen ptdetails (keineswegs aber so speziell wie der des Auges) nachgewiesen: jedoch die Bestimmung und die Funktionirung der einzelnen ile betrifft; so ist darüber noch nichts Haltbares und Befriedigendes estellt. Dessenungeachtet ist es zulässig, die vorstehenden allgemeinen e mit ziemlicher Zuverlässigkeit zu begründen. Denn es zeigt sich, die meisten und hauptsächlichsten Organe in der Konstruktion, wie im menschlichen Ohre vorliegen, für die Grundgesetze des Gehörs esentlich sind. Manche Thiere besitzen kein Trommelfell mit dem ugehörigen Apparate, manche kein Labyrinth, bei manchen reduzirt das Ohr auf eine einfache Blase. Der Mensch verliert nicht unbedingt Gehör durch den Verlust des Trommelfelles oder des Hammers oder Steigbügels. Was aber das Wichtigste ist, so ist der Eintritt der llwellen in die Ohrmuschel und den äusseren Gehörgang durchaus unbedingtes Bedürfniss: wir hören bei vollkommen verschlossenen en, selbst bei gleichzeitiger Absperrung von Mund und Nase, d. h. gleichzeitiger Absperrung der Eustachischen Röhre, welche die nmunikation der äusseren Luft durch Mund oder Nase mit dem Raume tter dem Trommelfelle herstellt.

Wenn nun weder der Eintritt der Schallwellen in den Gehörgang, die direkte Erschütterung des Gehörapparates durch die damit in ihrung stehende Luft unbedingt nothwendig sind; so folgt, dass auch diejenigen Organe, welche nach ihrer Einrichtung zur Aufnahme und pflanzung jener Luftschwingungen bestimmt sind, also das Trommel-mit Hammer, Amboss und Steigbügel keine wesentlichen Erfordernisse , und dass endlich die Form des Labyrinthes, welche mit den eben nnten Organen in einem nahen Zusammenhange steht, die Gehör-igkeit nicht prinzipiell bedingt.

Die Schallwellen können auf jedem beliebigen Wege, ch jedes beliebige Medium, sei es das Trommelfell, sei es Schädelknochen auf dasjenige Organ des Ohres eindrin-, in welchem die peripherischen Enden der Gehörnerven-ern ausmünden und in ihre spezifische Thätigkeit versetzt den. Die Affektion dieser Nerven ist in ihren wesentlichen enschaften stets dieselbe. Die äusseren Apparate von der muschel bis zu dem eben genannten Organe bezwecken er nur die Deutlichkeit des Eindruckes oder dienen zur kommodation des Ohres; das Prinzip der Affektion des Ge-nerven ist davon unabhängig.

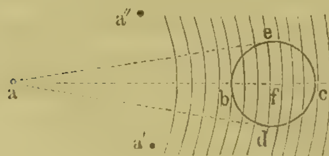
In der That kann das aus mehreren Körpern wie Ohrmuschel, Luft Gehörganges, Trommelfell, Hammer, Amboss, Steigbügel bestehende

mechanische Sytem die allgemeinen Verhältnisse des Vibrationssystems, von welchem dasselbe in seinem Anfangspunkte affizirt wird, nicht wesentlich ändern. Man darf sich nicht vorstellen, dass sich Vibrationen wie Druckkräfte durch ein Körpersystem fortpflanzen. Die Art und Weise, d. h. die Richtung, Geschwindigkeit und Kraft, womit eine am Anfangspunkte eines Körpersystems angebrachte Druckkraft am Endpunkte des Systems zur Erscheinung kömmt, hängt von der Beschaffenheit dieses Systems, insbesondere von den Verbindungen der einzelnen Körper ab: durch die Wirkung oder Arbeit einer solchen Kraft wird überhaupt das ganze Körpersystem in eine seiner Natur entsprechende Bewegung versetzt. Vibrationen dagegen pflanzen sich im Allgemeinen und in ihren wesentlichen Eigenschaften ganz unabhängig von der Natur eines solchen Systems durch dasselbe fort: sie setzen die einzelnen Theile nicht in relative Bewegungen, sondern in Vibrationen, welche sich wellenförmig und in konstanten Richtungen über alle Theile des Systems verbreiten. Ein schallender Punkt verbreitet also Kugelwellen, wovon er selbst das Zentrum bleibt, durch alle ihn umgebenden Körper. Von gewissen Modifikationen, Ablenkungen, Zerstreuungen, Absorptionen, Reflexionen, Verzögerungen und Beschleunigungen der Schallschwingungen bei der Durchdringung verschiedener Körper wird hierbei natürlich abstrahirt: dieselben bringen besondere Erscheinungen hervor, sind jedoch in den meisten Fällen und für die hier in Rede stehenden allgemeinen Prinzipien unwesentlich.

Es wird auch noch hervorgehoben, dass wenn wir uns in einem ringsum mit starren Wänden verschlossenen Raume befinden und dessenungeachtet den aussen entstehenden Schall nahezu richtig vernehmen, wir ein sprechendes Zeugniss vor uns haben, dass der Schall beliebige Körpersysteme durchdringt, ohne dass sich das Wellensystem wesentlich ändert.

3. Erkenntniss der räumlichen Verhältnisse des schallenden Körpers. — Laut. Hiernach wird also der Gehörnerv von einem schallenden Körper nahezu in einer lediglich von der Beschaffenheit dieses Körpers, d. h. von seiner Lage, Form, Entfernung, von seinem Tone und seiner Schallstärke abhängigen Weise affizirt, gleichviel ob der Gehörgang offen oder verschlossen ist: der Schädelknochen leitet den Schall in derselben Weise wie das Trommelfell (wenngleich weniger intensiv und deutlich). Die Affektion des Gehörnerven kann also nur durch die physikalischen Eigenschaften des Wellensystems bedingt sein, welches in einem dem schallenden Körper umgebenden ganz gleichförmigen Medium an dem Orte entstehen würde, wo sich unser Ohr oder vielmehr das empfindende Nervenorgan des Ohres befindet.

Fig. 513.



Angenommen, in Fig. 513 sei a der schallende Körper und bc das empfindende Organ des Ohres, in welchem die Fasern des Gehörnerven ausmünden und wo sich der mechanische Vibrationsprozess in den akustischen Nervenprozess umsetzt. Alsdann wird

Organ bc durch ein System von kugelförmigen Schallwellen wie dc af-
rt, deren Mittelpunkt a ist. An diesem Systeme charakterisiren sich
ort zwei Haupteigenschaften: die Richtung des mittleren Radius
und die Krümmung der mittleren Wellenoberfläche dc. Auf
sen beiden Eigenschaften des äusseren Reizes beruht unmittelbar die
kenntniss der Richtung fa, in welcher der schallende Punkt liegt,
l die Erkenntniss der Entfernung fa desselben. Denn der mitt-
Radius ac der Wellen ist die Resultante der radial vordringenden
pulse oder der radialen Affektionsrichtungen, bezeichnet also die mitt-
der affizirten Nervenfasern: die Krümmung der Kugelfläche dc da-
en entspricht der Beziehung, in welcher die Affektionen der seitwärts
f in der Kugelfläche de liegenden Elemente zueinander stehen und
che, wenn der Impuls in der ihm zukommenden Richtung, also immer
mal zu der Kugelfläche dc empfunden wird, sämmtlich auf den Punkt
ls Ausgangspunkt aller Impulse hinweisen.

Aus Vorstehendem geht hervor, dass es nützlich sein wird, wenn das
pfindende Organ $bdce$ möglichst klein, womöglich ein materieller
nkt ist, weil dann die mittlere Affektionsrichtung bc und die mitt-
e Wellenfläche de die einzige wird, was die Schärfe der Erkennt-
nothwendig erhöhen muss. In der That ist auch das fragliche Organ,
nlich das Labyrinth, von verhältnissmässig sehr kleinem Um-
nge.

Ferner ergiebt sich hieraus die Möglichkeit, die Richtung und Ent-
nung eines schallenden Punktes zu erkennen, gleichviel ob sein Ort sich
, neben, hinter, über oder unter uns befindet, ohne dass wir den Kopf
hen.

Wenn gleichzeitig mit a die Punkte a', a'' u. s. w. schallen; so
chdringen sich nach bekannten physikalischen Gesetzen in dem Organe
e die Wellensysteme, welche die Punkte a, a', a''... zu Zentren
en, ohne sich zu stören. Wir erkennen also gleichzeitig die
ge aller dieser Punkte, d. h. die Form, Grösse, Entfernung
l überhaupt alle räumlichen Eigenschaften des ausgedehn-
Körpers oder Körpersystems $a\,a'\,a''$...

Während Schall das Agens oder den äusseren Prozess, welcher einen
öreindruck erzeugt, im Allgemeinen, d. h. nach seinen physikalischen
ndeigenschaften bedeutet, wollen wir unter Laut die diesen Prozess
eugende Thätigkeit des schallenden Objektes verstehen. Hier-
h ist Schall analog dem Lichte; Laut aber ist bestimmte Gehör-
cheinung oder akustisches Objekt und demzufolge analog der
sichtserscheinung oder dem optischen Objekte.

4. Empfindung des Tones. — Tonhöhe und Intensität. Eine
ere wesentliche Eigenschaft des Schalles ist seine Vibrations-
chwindigkeit. Die mechanischen Erschütterungen des Laby-
hes und der halbkreisförmigen Kanäle, in welchen der Gehörnerv aus-
ndet, erzeugt eine Nerventhätigkeit, bei welcher die Vibrations-
chwindigkeit eine hauptsächliche Rolle spielt. Übrigens darf man nicht
ehmen, dass diese Nerventhätigkeit eine direkte Fortpflanzung der er-
nden mechanischen Vibrationen sei: ebenso wenig wie sich im

Sehnerven die Äthervibrationen direkt nach dem Gehirne fortpflanzen, ebenso wenig pflanzen sich im Gehörnerven die Vibrationen des Ponderabelen direkt fort. Wäre Letzteres der Fall; so würde das Gehör durch die Zerstörung des Ohres und der peripherischen Nervenenden nicht vernichtet werden; der Mensch würde vielmehr schon durch die direkte Erschütterung des Gehirnes hören können, was keineswegs der Fall ist. Die mechanischen Schallschwingungen erleiden also im Labyrinthe, ebenso wie die Ätherschwingungen in der Netzhaut eine Umwandlung; diese Umwandlung geht hier wie dort unter der Herrschaft der Neigungen der Nervensubstanz vor sich und erzeugt den akustischen Nervenstrom.

Im akustischen, wie im optischen Nervenstrome wird die Oszillationsgeschwindigkeit mit der Vibrationsgeschwindigkeit der erregenden Impulse, also resp. mit der Vibrationsgeschwindigkeit der Schall- und Lichtwellen isochron sein. Weil aber ausser der Bewegung der ponderabelen Moleküle auch eine stoffliche (chemische und kosmetische) Thätigkeit und eine Bewegung des Äthers stattfindet; so ist es durchaus nicht nöthig, dass bei allen Nervenprozessen von den mannichfaltigen in dem Schwingungszustande liegenden Verhältnissen stets ebendieselben es seien, welche dem Sinneseindrucke seinen Charakter geben. In der That haben wir beim Sehorgane gefunden, dass in dem optischen Nervenstrome nicht die Zeitverhältnisse des Schwingungszustandes, sondern die stofflichen Verhältnisse die entscheidende Rolle spielen und die Empfindung der Farbe bedingen. Beim akustischen Nerverstrome nun sind nicht die stofflichen, sondern die reinen Bewegungsverhältnisse, nämlich der Wechsel der Zustände in der Zeit oder die Zeitverhältnisse von hauptsächlicher Bedeutung, und sie sind es, auf deren Wirkung die Empfindung des Tones beruht, welche also die verschiedene Qualität oder die Höhe des Tones bedingen.

Hieraus ergeben sich für die Töne ganz andere Gesetze wie für die Farben. Während das Wesen der Farben, ihre Zusammenwirkung und gegenseitige Beeinflussung, sich auf das unentzifferbare Prinzip der Neigungen stützt, findet das Wesen der Töne seine Erläuterung durch Zeitverhältnisse und demgemäss durch Zahlen.

Farben mischen sich; jede Mischfarbe stellt einen mehr oder weniger selbstständigen Prozess dar. Töne vermischen sich nicht zu sebstständigen oder einfachen Tönen; sie bleiben unabhängig nebeneinander bestehen. Bei der gleichzeitigen Empfindung mehrerer Töne wird also das relative Verhältniss ihrer Schwingungszahlen von Bedeutung sein, weil es hiervon abhängt, ob die kombinirten Töne gemeinschaftliche Perioden haben, ob also gewisse Perioden des einen und des anderen Schalles sich ineinander fügen oder sich mischen. Das Wesen der Akkorde und der Harmonie, überhaupt die Theorie der Musik lässt sich daher auf Zahlengesetze zurückführen, die Theorie der Farben nicht.

Die Intensität des Schalles, welche entweder nach der Amplitude der Schallschwingungen oder nach dem dabei vorkommenden Maximum der Verdichtung gemessen werden kann, bewirkt, dass die Ampli-

ude des akustischen Nervenprozesses einen entsprechenden Werth animmt, und Diess giebt dem Sinneseindrucke des Tones seine Stärke.

5. Klang. Der Ton ist einfach und homogen, wenn die Vibraionsbewegung aus lauter der Zeit und der Intensität nach gleichen ›chwingungen eines einfachen Wellensystems, oder aus sogenannten ’endelschwingungen besteht, wie sie die Sinusoide in der ersten Kurve von Fig. 509 darstellt. Einfache Töne unterscheiden sich daer nur durch ihre Vibrationsgeschwidigkeit oder durch ihre Höhe. Venn dagegen die Vibrationsbewegung eine Zusammenlegung verschieener einfachen Wellensysteme oder verschiedener einfachen 'öne darstellt; so erhält man eine Mischung von Tönen, wozu auch die kkorde gehören. Ein solches zusammengesetztes Wellensystem besteht war aus regelmässigen, aber nicht pendelförmigen, ja wohl noch icht einmal symmetrischen Wellen.

Ein Wellensystem kann sich also von einem anderen Wellensysteme on gleicher mittlerer Vibrationsgeschwindigkeit oder Tonhöhe noch durch ie Form der Schwingungskurve unterscheiden. Die Bewegung eines hwingenden Massentheilchens innerhalb einer Schwingungsdauer von egebener Zeitlänge kann nämlich in gar mannichfaltiger Weise variiren, ie die drei Kurven in Fig. 509 beispielsweise darstellen. Auf dieser Form er Schwingungskurve beruht der Klang oder der Charakter des Tones.

Der natürliche Ton eines Körpers und seine Mischung aus einfachen örbaren Tönen, also die Hauptgliederung des Vibrationssystems wird ornehmlich durch das mechanische System (das System von Elastitätskräften) bestimmt, welches der Körper darstellt, und demzufolge wird eser Ton so wesentlich durch die Form und Spannung des Körpers edingt. An dem Tone einer Glocke von bekanntem Metalle lässt sich re Form, an dem Tone einer Darmsaite von bekannter Form (Länge d Dicke) ihre Spannung erkennen.

Die Form der Schwingungskurve, also der Klang eines örpers wird dagegen vornehmlich durch das physikalische System estimmt, welches sich in den elementaren Theilen oder Atomen es schallenden Körpers darstellt, indem dieses System zwar unvermögend t, die mittlere Bewegung oder die Schwingungsdauer eines solchen heilchens, welche durch die mechanische Resultante der Nachbartheilen (oder durch die Elastizität) bedingt ist, zu beeinflussen, wohl aber eignet ist, die spezielle Bewegung dieses Theilchens innerhalb der hwingungsdauer zu affiziren. Demzufolge charakterisirt sich das Holz, s Metall, der Stein, der starre, der flüssige, der gasförmige Körper, erhaupt jeder besondere Stoff durch einen besonderen Klang.

Ebenso beruht der Klang der Stimme des Menschen und der verhiedenen Thiere auf der durch ihre Stimmorgane erzeugten Schwingungsrve. (Übrigens ist der Begriff des Klanges nicht mit dem des Lautes, sbesondere des artikulirten Lautes, wovon wir in No. 8 und 9 reden erden, zu verwechseln).

Der Klang ist eine selbstständige Grundeigenschaft des halles, und bildet das Analogon zu dem Glanze des Lichtes . 71).

Allerdings hat Fourier gezeigt, dass jede regelmässige periodische Bewegung mathematisch und physisch als eine Zusammenlegung von einfachen Vibrationssystemen angesehen werden kann, deren Perioden aliquote Theile der Periode der Gesammtbewegung sind, dass also jeder regelmässige Schall als aus einem Grundtone und dessen Obertönen (welche resp. 2-, 3-, 4-, 5-...mal so rasch schwingen, also sämmtlich über der ersten Oktave liegen) zusammengesetzt erscheint. Allein diese Wahrheit hat vorzugsweise eine Bedeutung für das Objektive der Schallbewegung, nicht so sehr für das Physiologische der Erscheinung. Denn um einem Tone etwa von der Höhe des dreigestrichenen c, welcher 1056 Schwingungen in der Sekunde macht, jede beliebige Schwingungskurve, z. B. die zweite oder dritte in Fig. 509 zu verschaffen, müssten einfache Töne von unglaublich grosser Vibrationsgeschwindigkeit zusammengelegt werden. Töne von so bedeutender Höhe sind aber unhörbar, existiren also durchaus nicht als physiologisch akustische Objekte: ja bei den Lichterscheinungen, deren Glanz nach §. 71 auf der Form der Schwingungskurve ebenso beruht, wie der Klang der Töne, giebt es noch nicht einmal eine einzige volle Oktave sichtbarer Farben, sodass hierfür die Zerlegung jeder Schwingungskurve zu unsichtbaren Farben führen würde. Hieraus folgt, dass die physiologische Unterscheidung des Klanges und des Glanzes allgemein und prinzipiell durchaus nicht auf die Empfindung von Theiltönen (Obertönen) oder Theilfarben zurückgeführt werden kann, weil diese Theiltöne und Theilfarben in den meisten Fällen theils wegen zu grosser Höhe, theils wegen ungenügender Intensität gar nicht wahrnehmbar sind, also auch keine Empfindung hervorbringen können, es aber offenbar widersinnig sein würde, eine Empfindung als eine Summe empfindungsloser Affektionen zu betrachten.

Hiermit ist nicht ausgeschlossen, dass in den Fällen, wo die Zerlegung zu wahrnehmbaren Obertönen führt, die Empfindung derselben nicht zur Charakteristik des Klanges ihr Theil mit beitragen sollte: Diess ist sogar gewiss, da in diesem Falle die Schwingungskurve eine besondere, namentlich durch Symmetrie sich auszeichnende Eigenthümlichkeit zeigen wird. Allgemein aber beruht der physiologische Eindruck des Klanges und des Glanzes nicht auf der Mischung von Tönen und Farben, sondern lediglich auf der besonderen Form der Schwingungskurve, d. h. auf dem besonderen Wechsel der Affektion, welche das Sinnesorgan im Verlaufe einer Schwingung erleidet.

Einen direkten Beweis, dass der Charakter eines Tones oder der Klang nicht durch das Vorhandensein der sogenannten Obertöne bedingt ist, finde ich darin, dass jedes Körpersystem, welchem vermöge seiner physikalischen Eigenschaften ein besonderer Klang zukömmt, mit und ohne Obertöne erschallen kann. So können nach Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen S. 127 ff., Saiten, Pfeifen, Glocken, Vokale u. s. w. mit mehr oder weniger Obertönen erschallen. Ausserdem ist es Jedermann bekannt, dass jede Musik, welche auf einem bestimmten Instrumente vorgetragen wird, wie sich auch die Töne dabei kombiniren mögen, durchweg den diesem Instrumente zukommenden spezifischen

ng hat, dass also z. B. kein Akkord auf einem Saiteninstrumente wie nd eine Zusammenlegung von Horntönen klingt.

Wie schon erwähnt, haben die vorhandenen Obertöne nach ihrer Zahl, e, Intensität und zeitlichen Vertheilung einen charakteristischen Ein- auf den Klang, indem sie die Form der Schwingungskurve mit ngen. Es ist aber nur eine Spezialeigenschaft, welche sie dem ge verleihen. Insbesondere ist hierzu die Fülle, das Prächtige, die chheit, die Härte, die Schärfe des Klanges und dergl. zu rechnen. Grundwesen des Klanges oder der Charakter des Tones in er Allgemeinheit, welcher die eben genannten Einzelheiten als Spezia- en mit einschliesst, beruht jedoch meines Erachtens entschieden auf Form der Schwingungskurve, also auf dem Wechsel der ektionen, welche das Ohr im Verlaufe jeder Schwingung eidet. Mir scheint auch in der Natur der Sache ein zwingender nd zu der Annahme zu liegen, dass ein Nerv, welcher für die regel- sige Wiederkehr von Impulsen empfindlich ist, nothwendig gegen den tlichen Verlauf dieser Impulse oder gegen die Allmählichkeit Anwachsens und Nachlassens derselben, d. h. gegen die Schwin- gskurve nicht indifferent sein könne.

Die in dem Ohmschen Gesetze ausgesprochene Meinung, dass das nur einfache oder Pendelschwingungen wahrzunehmen ver- e und dass dasselbe jeden Ton in seine einfachen Partialtöne zer- e, um die letzteren gesondert zu empfinden, kann nur auf musika- he Töne und zwar nur auf harmonische oder konsonirende e, nämlich nur auf solche Vibrationssysteme Anwendung finden, wo Schwingungskurven von solcher Form erzeugen, dass der Verlauf Affektion während des Vorüberganges jeder Hauptwelle denselben kt hervorbringt wie der Verlauf der isolirten Partialwellen. Dass übri- jenes Gesetz selbst für musikalische Töne nur eine angenäherte igkeit hat, lehren die sogenannten Schwebungen, welche direkt eisen, dass das Ohr auch für nicht pendelartige Impulse, also emein für die Form der Schwingungskurve empfindlich ist.

Ich stelle folgendes Gesetz auf. Jedes Maximum der Krüm- ng (oder Minimum des Krümmungshalbmessers) in der wingungskurve wirkt vermöge des darin liegenden Wech- zwischen Beschleunigung und Verzögerung wie ein Im- s auf das Ohr. Jede in der Zeit gleich vertheilte Reihe sol- r Impulse bildet einen Ton, welcher für sich unterschieden d, wenn seine mittlere Intensität gross genug ist und seine wingungszahl in den Grenzen der Hörbarkeit liegt. Übri- s bildet die Gesammtbewegung hinsichtlich ihrer Affek- n des Gehörnerven ein Ganzes von stetigem Verlaufe, dessen dulation, dargestellt durch die Schwingungskurve, den ng bedingt.

Man sieht, dass sich nach dieser leicht verständlichen Auffassung r zusammengesetzte Ton im Allgemeinen, jedoch nicht immer, auch nur angenähert in seine Partialtöne zerlegt und dass diese egung im Ohre auf eine greifbare Basis zurückgeführt wird, ohne Klange seine spezifische Bedeutung zu rauben.

Wenn man die Lage der Maximen der Krümmung einer zusammengesetzten Schwingungskurve mathematisch untersucht; so findet man, dass sich dieselben gegen die Lage der Maximen der Krümmung der Kurven der Partialtöne mehr oder weniger und zwar dergestalt verrücken, dass dieselben keine den Partialtönen genau entsprechende regelmässige Reihenfolge mehr bilden. Solange diese Verrückung klein genug bleibt, ist sie für das Ohr nicht wahrnehmbar: die Partialtöne erschallen ungestört oder sie konsoniren. Sobald jedoch jene Verrückung eine gewisse Grenze überschreitet, wird die Unregelmässigkeit der Impulse wahrnehmbar: die Töne dissoniren.

Durch Vorstehendes haben wir nun zugleich die wahre physiologische Grundlage der Dissonanz gefunden. Dieselbe beruht in der Unregelmässigkeit einer Reihenfolge von Impulsen und setzt prinzipiell eine Kombination von Tönen gar nicht voraus. Fände bei der Zusammensetzung von einfachen Tönen nicht jene Verrückung der Krümmungsmaximen statt; so würden alle Tonverbindungen Konsonanzen sein. Die Dissonanz liefert also einen ferneren Beweis gegen die Annahme, dass das Ohr nur pendelförmige Schwingungen empfinde.

6. **Betheiligung der einzelnen Nervenfasern an dem akustischen Prozesse.** Beim optischen Prozesse funktionirt für jede spezielle Richtung, in welcher die Aussenwelt ein Strahlenbündel ins Auge sendet, eine spezielle Nervenfaser. Beim akustischen Prozesse ist etwas Ähnliches nicht nachgewiesen: vielmehr hat man es in neuester Zeit wahrscheinlich zu machen gesucht, dass auf jeden besondern Ton eine besondere Faser des Gehörnerven reagire oder dafür empfindlich sei (vergl. die Lehre von den Tonempfindungen von Helmholtz S. 215 ff.).

Ich halte die letztere Vermuthung nicht für begründet (vergl. No. 9). Die allgemeine Durchdringlichkeit aller Stoffe für den Schall und für jeden Ton (wobei die Modifikation des Tones in Folge des natürlichen Schwingungssystems oder des natürlichen Tones des zu durchdringenden Körpers nur eine untergeordnete Rolle spielt), sowie auch die Thatsache, dass die peripherischen Enden der Fasern des Gehörnerven keine mit den äusseren Raumverhältnissen korrespondirende Lagerung haben, und endlich die Wahrnehmung, dass der Schall und jeder spezielle Ton in seiner richtigen Richtung erkannt wird, gleichviel, welche Stellung der Kopf und das Ohr gegen den schallenden Punkt hat, nöthigt meines Erachtens zu der Annahme, dass von jedem Schalle alle Fasern des Gehörnerven oder doch viele in Thätigkeit gesetzt werden. Die Vorstellung der Richtung oder Entfernung des schallenden Punktes bildet sich nach No. 3 aus der Resultante und den Komponenten der Erschütterung, die Empfindung des Tones dagegen nach No. 4 aus der allen affizirten Fasern gemeinschaftlichen Vibrationsweise. Hierbei scheint es mir wahrscheinlich zu sein, dass nicht alle Fasern gleich stark erschüttert werden, dass vielmehr diejenige Faser, welche je nach der besonderen Richtung des Schalles eine mittlere Lage annimmt, am stärksten affizirt wird, sodass die Gesammtintensität des Schalles über die Gesammtheit der Fasern ungleichmässig vertheilt ist (vergl. No. 9).

7. **Akkommodation des Ohres.** Das Ohr akkommodirt sich auf ı Schall wie das Auge auf das Licht. Schärfe oder Deutlichkeit des ıdruckes ist auch hier der Zweck der Akkommodation, nicht Erkenntniss visser Eigenschaften des Objektes. Um deutlich zu hören, bringt n wohl das Ohr durch Drehung des Kopfes in eine möglichst günstige llung gegen das schallende Objekt, und manche Thiere vermögen zu sem Zwecke die Ohrmuschel zu bewegen: allein in den meisten Fällen erlässt der Mensch diese Bewegung; bei dem gleichzeitigen Erschallen ı Objekten, welche sich an verschiedenen Örtern befinden, ist es sogar möglich, das Ohr auf jedes zu richten; bei den aus der Höhe oder Tiefe mmenden Tönen findet in der Regel nur eine sehr unbedeutende Beweıg statt, und selbst für die aus horizontalen Richtungen stammenden ne ist die Einstellung der Kopfaxe nur eine sehr angenäherte, niels eine feste, durch den äusseren Reiz scharf bedingte.

Wenn nun hiernach noch nichteinmal das Bedürfniss sich geltend cht, das Ohr gehörig zu richten, wenn also die Erkenntniss des Schalgleich gut erfolgt, in welcher Richtung auch die Schallwellen den Gegang treffen oder den Schädelknochen durchdringen mögen; so muss ı schliessen, dass zur scharfen Auffassung der räumlichen Verhältse des Objektes überhaupt die Akkommodation des Ohres nicht erforlich ist. Dieselbe kann also nur zur vollkommenen Empfindung des nes dienen. Die letztere Annahme rechtfertigt sich auch durch die ıstruktion des Ohres. Bei normalem Gebrauche wird zunächst das ommelfell durch die Luft im Gehörgange erschüttert. Das Trommelist eine gespannte Membrane. Wenngleich nun, wie vorhin erwähnt, es Wellensystem, also auch jeder Ton durch jeden beliebigen Körper e wesentliche Änderungen fortgepflanzt wird; so findet doch immer dieser Durchdringung eines anderen Körpers eine gewisse Modifikation t, welche die Reinheit oder Vollkommenheit des Wellensystems nträchtigt. Diese Modifikation ist bedingt durch die Form und innung des zu durchdringenden Körpers, also durch den natürlichen n desselben (ähnlich wie das Licht, welches einen durchsichtigen Körper chdringt, von der natürlichen Farbe desselben modifizirt wird). Han; es sich nun darum, den Ton beim Durchgange durch einen Körper in glichster Reinheit zu erhalten, so muss der natürliche Ton dieses pers mit dem gegebenen übereinstimmen, d. h. es muss die Form oder Spannung dieses Körpers eine dem gegebenen Tone entsprende sein.

Verschiedene Töne können demnach in vollkommenster Reint durch das Trommelfell nur dann fortgepflanzt werden, wenn dasselbe dem Tone seine Spannung ändert. Der höhere Ton erfordert eine rkere, der tiefere eine schwächere Spannung.

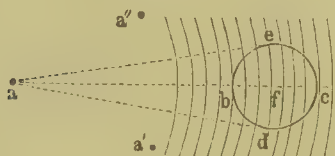
Das Ohr bedarf nach Vorstehendem der Akkommodation behuf Reinheit der Tonempfindung, das Auge dagegen behuf der Vollımenheit der Vorstellung der räumlichen Verhältnisse, insbelere der Entfernung. Hierin liegt ein erheblicher Unterschied, wel: die schon mehrfach ausgesprochene Behauptung bestätigt, dass die jedes Sinnesorgan stets vom motorischen Apparate ausgehende kommodation nicht zur Erkenntniss einer gewissen Eigenschaft

des Objektes, sondern lediglich zur Herbeiführung eines möglichst vollkommenen Eindruckes oder zur Deutlichkeit dient. Wäre nämlich die Thätigkeit des motorischen Apparates für das Auge das Maass für die Entfernung des Objektes, so müsste es befremden, wenn diese Thätigkeit für das Ohr nicht ebenfalls das Maass für die Entfernung, sondern für den Ton (welche der Farbe des Lichtes entspricht) wäre.

Wenn sich das Trommelfell gleichzeitig auf verschiedene Töne, z. B. auf einen Akkord akkommodiren soll; so darf dasselbe keine ebene Haut mit allenthalben gleichförmiger Spannung bleiben; es müssen sich vielmehr Richtungen von verschiedener Spannung darin bilden, welche die Erzeugung eines kombinirten Wellensystems ermöglichen. Mit Hülfe des Hammers und der Spannmuskeln wird eine solche vollkommene Akkommodation, wenigstens näherungsweise, zu erreichen sein.

8. Klangfiguren im Gehörorgane. — Akustische Form. — Laut. Wenn gleichzeitig verschiedene, d. h. aus verschiedenen Punkten a, a', a'' des Raumes stammende Wellensysteme (Fig. 514) das Gehörorgan $b\,d\,c\,e$ durchdringen; so muss sich darin nothwendig eine sogenannte Klangfigur bilden, welche in ihrer Form von der Form, überhaupt von den räumlichen Verhältnissen des schallenden Objektes $a\,a'$ a'''..., ferner von den Vibrations- oder Tonverhältnissen der einzelnen schallenden Punkte a, a', a''... und ausserdem von den ein für allemal gegebenen physikalischen Eigenschaften des Gehörorgans (Labyrinthes) abhängt.

Fig. 514.



In dieser Klangfigur stellt sich also im Ohre ein Eindruck dar, welcher aus einer Kombination von räumlichen und von Tonverhältnissen besteht, also den spezifischen geometrisch-akustischen Werth des Objektes vertritt. Man kann die Wirkung einer solchen Klangfigur eine akustische Form nennen.

Die Zeit, welche die von wenigen Stössen eingeleiteten Schallschwingungen gebrauchen, um zu erlöschen oder die Wahrnehmbarkeit zu verlieren, ist zwar klein, aber doch unnennbar grösser, als die Zeit, in welcher die physikalischen Lichtvibrationen des Äthers erlöschen. Der Schall hallt nach. Hieraus folgt, dass wenn die Punkte a, a', a'' ihre Wellensysteme auch nicht ganz gleichzeitig, wohl aber in sehr kurzen Intervallen aussenden, die Klangfigur fast in derselben Weise entsteht.

Wenn nun der Wechsel der Töne a, a', a''... rasch genug erfolgt; so wird die Hauptaffektion des Ohres in der Bildung und Veränderung oder in der Bewegung von Klangfiguren oder akustischen Formen bestehen: das Tonverhältniss, welches auf der Vibrationsgeschwindigkeit jener Töne beruht, wird ganz in den Hintergrund treten, weil den einzelnen Tönen nicht gestattet wird, so lange Zeit hindurch ihre regelmässigen Schwingungen auszuüben, wie es erforderlich ist, damit das Ohr jenes Tonverhältniss gehörig auffasse oder den Ton des Schalles gehörig

pfinde. Ausserdem ist zu bemerken, dass mit der Plötzlichkeit des nwechsels offenbar die Kräftigkeit der Klangfiguren wächst.

Wenn verschiedene Töne gleichzeitig aus demselben Punkte mmen; so wird sich in dem Labyrinthe zwar auch eine Klangfigur bil-ı; dieselben wird jedoch einen viel einfacheren Charakter haben. Jedem korde wird also ebenfalls eine besondere Klangfigur entsprechen.

Wenn endlich verschiedene Töne, mögen sie aus einunddemselben oder verschiedenen Punkten stammen, so lange Zeit hindurch schallen, dass Ohr im Stande ist, ihr Tonverhältniss oder ihre Qualität zu em-iden; so wird bei der Änderung dieser Töne zwar eine Bewegung und ränderung von Klangfiguren eintreten: allein wenn jene Zeitintervalle lang ıug sind, wird die Intensität der Klangfiguren so schwach und e Bewegung so langsam werden, dass dieselben eine namhafte Wir-ıg nicht mehr hervorbringen können, sondern gegen die Tonempfin-ng ganz zurücktreten.

Es dünkt mich wahrscheinlich, dass die Erzeugung scharfer Klang-guren das Hauptmoment bei der formellen und physikalischen Anord-ıg des Labyrinthes mit den Kanälen im menschlichen Ohre ist und s die eigenthümliche Verbreitung der Sehnervenfasern im Labyrinthe d an den Ampullen vornehmlich behuf deutlicher Erkenntniss dieser angfiguren erforderlich ist.

Der Schall, dessen Wirkung prinzipiell nicht auf der Vibrations-schwindigkeit, sondern auf der Klangfigur beruht, ist kein Ton, h kein Klang, sondern ein Laut (No. 3).

9. Widerlegung der Annahme, dass für jeden besonderen n eine besondere Faser empfänglich sei. Wir wollen jetzt die in . 6 erwähnte Annahme, dass für jeden besonderen Ton eine beson-re Nervenfaser empfänglich sei, näher beleuchten. (Vergl. die Lehre ı den Tonempfindungen von Helmholtz S. 215 bis 223.)

Diese Annahme stützt sich lediglich auf die Wahrnehmung, dass wenn selbe Ton wiederholt erschallt und die Zwischenpausen immer mehr kürzt werden, das Ohr die Unterscheidung der einzelnen Töne eher ver-rt, wenn der Ton tief ist, als wenn er hoch ist, sodass z. B. ein Tril- in tiefen Tönen eher undeutlich wird, als in hohen. Aus dieser Beob-ıtung zieht man den Schluss, dass für jede Tonhöhe eine besondere rvenfaser empfindlich sei, indem man als Verbindungsglieder dieses hlusses erstens die Hypothese aufstellt, dass die an die Nervenenden mittelbar sich anschliessenden Gebilde, die Cortischen Fasern, ver-ge ihrer verschiedenen Elastizität und Spannung auf die verschie-nen Tonhöhen gestimmt seien, sodass bei jedem bestimmten Tone r eine bestimmte Faser mitzuschwingen vermöge, und alsdann auf die ysikalische Beobachtung Bezug nimmt, dass ein Körper, welcher durch ssere Impulse in eine seiner Elastizität nicht entsprechende Vibration rsetzt ist, sobald jene äusseren Impulse aufhören, nicht mit der Schwin-ngszahl der äusseren Impulse fortschwingt, sondern die Schwingungs-hl seines eigenen Tones annimmt und damit verhallt.

Die Wahrnehmung hinsichtlich der mit der Tiefe des Tones abneh-enden Deutlichkeit der Triller als richtig vorausgesetzt; so beruht die

Argumentation zunächst auf der Hypothese, dass die Cortischen Fasern wie die Saiten eines Klaviers abgestimmt seien. Diese Hypothese ist meines Erachtens im höchsten Grade unwahrscheinlich: die Vorstellung der Kräfte, welche thätig sein müssten, um diese Stimmung zu erzeugen und zu erhalten, stösst auf erhebliche Schwierigkeiten. Da die Stimmung eines elastischen Körpers oder sein natürlicher Ton von seiner Masse, Spannung und Molekularbeschaffenheit abhängt; so müsste die Stimmung jeder einzelnen Faser in Folge der periodischen und zufälligen Änderungen seiner Konstitution, wie sie im Stoffwechsel, im Krankheitsprozesse und in anderen Einflüssen liegen, einem fortwährenden, bald regelmässigen, bald unregelmässigen Wechsel unterworfen sein. Welche Kraft ändert nun die Spannung dieser Fasern so, dass dadurch der Einfluss jener materiellen Veränderungen ausgeglichen wird, und wie ist es möglich, dass diese Kraft mit jenen unregelmässigen Einflüssen genau Schritt hält? Oder soll man annehmen, dass in der That die Stimmung der einzelnen Fasern sich ändere, sodass die Faser, welche heute dem Tone *a* entspricht, morgen vielleicht dem Tone *c* angehört? Im letzteren Falle könnte es sich ereignen, dass mehrere Fasern denselben Ton empfänden und dass für die Empfindung einzelner Töne auf einmal die entsprechenden Fasern, also auch die Empfindung fehlte.

Die fragliche Hypothese über die besondere und sukzessive Abstimmung der einzelnen Cortischen Fasern erweis't sich also als unnatürlich und die faktische Zusammenhaftung der benachbarten Fasern macht sie fast unmöglich.

Was aber die physikalische Beobachtung über das Ausschwingen eines Körpers betrifft; so hat dieselbe nur für gewisse Körper eine näherungsweise Gültigkeit. Im Allgemeinen entsteht nämlich in einem Körper, welcher nicht durch seinen natürlichen, sondern durch einen fremden Ton erschüttert wird, ein von seinem natürlichen abweichendes Schwingungssystem: der enstehende Ton ist also weder der natürliche, noch der fremde, sondern ein von diesen beiden und der Beschaffenheit des Körpers, sowie von der Art und Intensität der Erregung abhängiges Tongemisch. Sowie die Erregung aufhört, strebt der Körper allerdings in seinen natürlichen Schwingungszustand überzugehen: allein die Geschwindigkeit, womit er sich diesem Zustande nähert, hängt ganz und gar von seiner Beschaffenheit und der fremden Erregung ab. Einfache Körper und Körper von einer starken akustischen Spannung, wie Stimmgabeln und Saiten, welche man daran erkennt, dass sie trotz fremdartiger Erschütterungen von gewöhnlicher Stärke doch nahezu ihren natürlichen Ton intensiv angeben und beim Aufhören der äusseren Impulse lange nachklingen, bei welchen also die Tendenz zur Annahme des natürlichen Schwingungszustandes durch fremdartige Einwirkung nicht leicht überwunden wird, solche Körper werden, wenn die fremden Impulse aufhören, allerdings sehr rasch in ihren natürlichen Schwingungszustand übergehen, also mit ihrem natürlichen Tone verhallen. Ganz anders verhält es sich aber mit komplizirten Körpern und mit Körpern von schwacher akustischer Energie, wie Membranen und organische Gebilde, welche man daran erkennt, dass sie einen wahrnehmbaren eigenen Ton fast gar nicht haben

durch jede fremdartige Erschütterung leicht in jeden beliebigen Schwin-
gszustand versetzt werden, auch beim Aufhören der äusseren Impulse
ch verklingen. Solche Körper werden, wenn die äusseren Impulse auf-
n, zwar rasch verhallen, allein der Übergang in ihren natürli-
n Ton wird sehr langsam erfolgen, das für die Wahr-
mbarkeit erforderliche Minimum der Intensität wird also erreicht
len, ehe der fremde Schwingungszustand sich wesentlich geändert
d. h. solche Körper werden mit dem fremden, nicht mit ihrem
ürlichen Tone verhallen.

Die Gebilde des Ohres sind nun nach ihrer akustischen Eigenschaft
z unzweifelhaft nicht mit der ersteren, sondern mit der letzteren Art von
pern zu vergleichen, was schon daraus hervorgeht, dass ein Nachtönen,
n der äussere Ton aufhört, fast gar nicht stattfindet. Demgemäss
igt jene physikalische Erscheinung in ihrer Anwendung auf das Ohr zu
entgegengesetzten Schlussfolgerung. Es geht nämlich daraus hervor,
alle Cortischen Fasern, da sie sämmtlich nicht nachtönen, keinen natür-
en Ton von irgend einer namhaften Intensität haben, dass also die
e so gut wie die andere jeden beliebigen Ton leicht auf-
iehmen fähig ist. Dasselbe gilt von der Gesammtheit aller dieser
ern oder von dem Gesammtorganismus des Ohres. Demzufolge
d jede dieser Fasern und das ganze innere Ohr, wenn dasselbe durch
nd einen fremden Ton erschüttert ist, nicht mit dem diesem akusti-
n Systeme zukommenden natürlichen Tone, sondern immer mit
fremden Tone verhallen. Die Dauer des Nachhalles wird
wesentlich durch den fremden Ton bedingt und demzufolge die
tlichkeit eines Trillers von der Höhe des Tones abhängen.

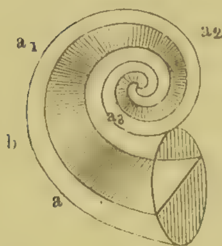
Umgekehrt rechtfertigt die Abhängigkeit der Dauer des Nachklingens
der Tonhöhe die Annahme, dass das gesammte Gehörorgan, also
einzelnen Cortischen Fasern und alle Nervenfasern für jeden Ton
fänglich seien.

Auch die Befestigung der Cortischen Fasern mit den Enden, an
r straffen, vibrirenden Haut, der Grundmembran (*mem-
na basilaris*) würde eine sehr unzweckmässige sein, wenn die einzel-
Fasern auf besondere Töne gestimmt wären, weil ja diese
it jede beliebige Vibrationsgeschwindigkeit annehmen,
dieselbe auch jeder daran gehefteten Faser mittheilen wird. Eben diese
estigungsweise zeigt darauf hin, dass alle Fasern für jede Vi-
tionsgeschwindigkeit eingerichtet seien, dass also die Viel-
it der Cortischen Fasern und der primitiven Fasern des Gehörnerven
n anderen Zweck als die Empfindung der verschiedenen Tonhöhen
e. Dieser Zweck kann aber nur in der Erkenntniss gewisser räum-
hen Verhältnisse gesucht werden, und es leuchtet ein, dass die
eftung der dicht gedrängten, auch untereinander zusam-
nhängenden Fasern auf einer straff gespannten Membran
züglich dazu geeignet ist, die in dieser Membran vermöge der Er-
ütterungen der angrenzenden wässrigen und knöchernen Me-
n entstehenden Klangfiguren, welche durch ihre örtlich ver-
iedene Schwingungsintensität räumliche Figuren dar-
len, zur Erkenntniss zu bringen.

Wir nehmen also an, dass bei jedem Tone viele Fasern des Gehörnerven in Vibration gerathen, dass jedoch nach Maassgabe der im Gehörorgane, insbesondere im Labyrinthe sich bildenden Klangfiguren gewisse Fasern intensiver affizirt werden, als andere. Nach der Natur der Klangfiguren, in welchen sich die dem schwingenden Körper und der äusseren Erschütterungsweise entsprechenden elementaren Vibrationssysteme durchdringen, würden sich Maximen und Minimen der Erregung bilden. Ein solches Maximum wird allerdings auf eine bestimmte einzelne Faser treffen, allein da die Intensität rechts und links von einem solchen Maximum nur allmählich abnimmt; so werden doch immer eine grosse Zahl von Fasern in der Nachbarschaft jenes Maximums in gleichartige Schwingungen versetzt werden, und man sieht, dass die Aneinanderheftung der einzelnen Fasern die Feinheit des Gehörs nicht beeinträchtigt, indem von einer Abstimmung oder von einer spezifischen Empfänglichkeit der einzelnen Fasern für einzelne Tonhöhen keine Rede ist.

Klangfiguren werden im Labyrinthe selbstverständlich nicht bloss bei zusammengesetzten, sondern auch bei einfachen Tönen entstehen und man kann wohl annehmen, dass für einen bestimmten Ton das Maximum der Erregung der Grundmembran an einer bestimmten Stelle a (Fig. 515) entsteht. Wäre das Gehörorgan ein Körper von starker akustischer Spannung, wie eine Glocke, eine Stimmgabel oder eine Saite; so würde die Lage der Knoten und der Bäuche, also die Form der Klangfigur von der äusseren Erschütterung, also von dem Tone ziemlich (wennauch nicht völlig) unabhängig sein und eine feste natürliche Figur bilden. Bei der vorstehend erwähnten Beschaffenheit des Gehörorgans ist aber umgekehrt die Klangfigur wenig oder gar nicht von dem natürlichen, sondern fast ausschliesslich von dem erregenden oder fremden Tone abhängig.

Fig. 515.



Während also ein gewisser Ton die bei a liegenden Fasern am stärksten erregt, wird ein anderer Ton die bei b liegenden Fasern am stärksten erregen. Ein zusammengesetzter Ton wird eine Klangfigur von mehreren Maximen der Erregung wie a und b erzeugen. Aus der Trennung dieser Maximen der Erregung erklärt sich denn auch die Thatsache, dass wir in einem zusammengesetzten Tone, z. B. in einem Akkorde, die einzelnen Töne empfinden und unterscheiden und dass nicht, wie bei den Farben, eine Verschmelzung zu einem scheinbar einfachen Tone stattfindet.

Ist die Schallschwingung aus einem Grundtone und dessen Obertönen zusammengesetzt; so werden sich ausser dem Hauptmaximum a der Erschütterung noch die Nebenmaximen an den Stellen $a_1, a_2, a_3 \cdots$ bilden, wo ein homogener Ton von 2-, 3-, 4-facher Vibrationsgeschwindigkeit seine Affektionen äussern würde.

Bei dissonirenden Tönen werden die Maximen a, b schwanken, es werden also dieselben Nerven nicht dauernd in derselben Weise

zirt werden, sondern die Hauptaffektion wird unstät über gewissen rven variiren.

Zur Trennung der Maximen für die einzelnen Töne ist die Schnecken-m des Labyrinthes offenbar sehr geeignet, indem sie der zuerst erschüt-ten Grundmembran, welche eine Zunge in dieser Schnecke bildet, eine h allmählich zuspitzende Gestalt giebt, deren Querele-nte also allmählich kürzer werden und demzufolge wie Saiten n gleicher Spannung, aber verschiedener Länge vorn chter durch die tieferen und hinten leichter durch die heren Töne affizirt werden, im Allgemeinen aber die Ver-ckung der Maximalerregung für verschiedene Töne wirken.

Denselben Zweck würde zwar auch eine gerade gestreckte Röhre t abnehmender Weite erfüllen: allein die Schneckenform bietet den Vor-il der Konzentration auf den kleinsten Raum und wahrscheinlich h andere akustische Vortheile dar.

Die Stellen *a*, *b* in der Schnecke, an welchen sich das Hauptma-num der Erregung durch einen Ton einstellt, werden von dem Orte, o von der Richtung und der Entfernung, aus welcher der Ton mmt, ziemlich unabhängig sein. Diese räumlichen Verhältnisse r äusseren Erschütterung müssen sich also, wie beim Gefühle, durch besonderen Richtungen, in welchen die Impulse erfolgen, kenntlich chen. In der That werden die Elemente der Grundmembran, selbst nn das Maximum der Erregung bei *a* liegt und die Vibrations-schwindigkeit eine gegebene ist, nicht immer in derselben Weise hwingen: die Vibrationen werden vielmehr ihre Schwingungsebene d in den einzelnen Querstreifen des Bereiches der Maximalerregung ihre lativen Verhältnisse in mehrfacher Hinsicht so ändern können, dass Nervenfasern neben der Tonhöhe auch die Vorstellung von dem Orte s tönenden Objektes liefern.

Es scheint mir übrigens wahrscheinlich, dass vornehmlich diejenigen rvenfasern, welche nicht im Labyrinthe, sondern an den Ampullen digen, dazu bestimmt sind, die räumlichen Verhältnisse des Schal-zur Erkenntniss zu bringen. Den Nachweis, wie die drei Bogen-nge, an deren Endpunkten die Ampullen liegen, zur Vermittlung die-r Erkenntniss besonders geeignet seien, lassen wir zwar hier auf sich ruhen, machen aber darauf aufmerksam, dass die Stellung dieser drei gengänge in drei aufeinander rechtwinklig stehenden Ebenen Fingerzeig für dessfallsige weitere Betrachtungen ist.

Endlich aber kann ich nicht umhin, der Ansicht entgegenzutreten, dass e Fortpflanzung der Schallvibrationen im Labyrinthe durch ein ndelartiges Hinundherschwanken des Labyrinthwassers zwi-hen dem ovalen und dem runden Fenster auf Grund der Eindrücke, lche der Steigbügel am ersteren Fenster macht, erfolge. Meines Erach-ns geht diese Fortpflanzung wesentlich auf dem Wege der Molekular-irkung ganz ebenso vor sich, wie sich der Schall durch jeden flüssigen d starren Körper fortpflanzt. Diese Molekularwirkung ist nämlich ganz ausbleiblich, weil sie auf unabänderlichen mechanischen Gesetzen

beruht; sie ist zur Fortpflanzung regelmässiger Vibrationen ausreichend und zur Erzeugung von Klangfiguren allein nur geeignet. Das Hinundherfliessen des Labyrinthwassers ist also zu diesem Zwecke unnöthig und ungeeignet; dasselbe kann auch mit dem Isochronismus der rasch vibrirenden Töne gar nicht stattfinden. Ich meine nämlich, das Labyrinthwasser kann sich nicht in seiner Totalität, wie eine zusammenhängende Masse mit der Geschwindigkeit der Schallvibrationen hinundher verschieben, sondern nur in Schallwellenform sich bewegen.

Das runde Fenster im Labyrinthe ist darum nicht unnütz. Denn in Folge der molekularen Schallvibrationen im Labyrinthwasser entstehen partielle Verdichtungen und Verdünnungen und Molekularbewegungen, welche besonders bei sehr intensiven Eindrücken des Steigbügels am ovalen Fenster ein periodisches Ausweichen des Labyrinthwassers am runden Fenster zur Verhütung von Beschädigungen nothwendig machen können.

10. Psychologische Wirkung der Töne und der Klangfiguren. — Musik und Sprache. Die vorstehenden Betrachtungen geben uns den Schlüssel zur Erklärung der verschiedenartigen Eindrücke, welche wir durch das Ohr empfangen.

Die Töne, als die Qualitäten des Schalles, erzeugen ebenso wie die Farben im Sensorium direkt Empfindungen und demgemäss in der Seele Gemüthsbewegungen, keine Vorstellungen und Gedanken. Die Gedankenbildung ist eine Induktionswirkung der Gemüthsbewegung; es können mithin durch Töne, solange dieselben nur als Qualitäten wirken, keine bestimmten Vorstellungen und Gedanken erzeugt, vielmehr kann durch sie das intellektuelle Vermögen nur in gewissen allgemeinen Richtungen angeregt werden.

Die Musik ist die Kunst der Töne; sie kann daher direkt nur Empfindungen oder eigentlich Stimmungen und dadurch Gedankenrichtungen, keine konkreten Gedanken schaffen.

Damit das Ohr die Qualität, nämlich das Tonverhältniss eines Schalles gehörig auffassen kann, muss er eine gewisse Zeit lang ertönen. Die Musik gestattet daher nur ein bestimmtes Minimalmaass für die Dauer der Töne oder ein bestimmtes Maximalmaass für die Geschwindigkeit des Tonwechsels. Die Melodie bedingt eine gewisse Langsamkeit oder Stetigkeit, eine sanfte, wellenförmige Bewegung der Tonentwicklung.

Wenn die Geschwindigkeit des Tonwechsels steigt, die Plötzlichkeit der Tonveränderung sich erhöht und besonders, wenn hiermit ein abrupter Wechsel die örtlichen Verhältnisse der Tonquellen verbunden ist, verlieren die Töne als solche immer mehr an Bedeutung und es tritt die Wirksamkeit der Klangfiguren oder akustischen Formen immer schärfer hervor. Endlich empfindet das Ohr die Töne gar nicht mehr, sondern wird nur von den Klangfiguren affizirt.

Die Klangfiguren, als räumliche Formen, erzeugen nun aber keine Empfindungen, sondern wie die optischen Formen Vorstellungen, wirken also direkt auf den Verstand. Freilich erzeugen sie, da ihre Grundlage, die Klangfigur, nicht das Abbild eines äusseren Objektes, sondern

, allgemeine oder reine Form ist, keine bestimmten Vorstellungen Objekten der Aussenwelt: ihre Wirkung ist vielmehr der Wirkung ıler geometrischer Formen zu vergleichen. Wenn diese allgemei-, des individuellen Inhaltes entbehrenden Erregungen durch eine Zwi-noperation auf eine systematische Weise mit den Funktionen des Ver-ıdes in Verbindung gebracht werden, können sie die Träger stimmter, der Wirklichkeit entsprechender Vorstellungen Gedanken werden. Hierzu gehört allerdings eine gewisse künstliche sbildung des Organismus.

Die hörbare Rede wirkt durch diese Prinzipien, nämlich vermöge Klangfiguren oder durch Laute, nicht durch Töne auf unser Ohr erzeugt darin direkt Vorstellungen von allgemeinen Formen, che wir vermöge unserer Kenntniss der betreffenden Sprache auf kon-ete Vorstellungen übertragen. Die Empfindungen, welche in Musik die direkte Wirkung darstellen, erscheinen hier als sekundäre ekte, als die Gemüthsbewegungen, welche induktorisch mit jeder Ver-ıdesthätigkeit verbunden sind.

Ganz ähnlich, wie die hörbare Rede mittelst Klangfiguren ıch das Ohr, wirkt die Schrift mittelst optischer Figuren durch Auge auf die Seele. In beiden Fällen erhalten wir nur den Eindruck, chen eine reine oder architektonische Form zu machen im Stande und es ist die in der Kenntniss der Sprachlaute und der Schriftzeichen ende besondere Ausbildung erforderlich, um jene Eindrücke zu indi-luellen Vorstellungen und Gedanken umzubilden.

Aus den obigen Betrachtungen über die Kräftigkeit der Form und Wechsels der Klangfiguren erkennt man nun auch, wie wesentlich es die Wirkung der menschlichen Sprache ist, dass ihre Laute von ganen, den aus Luftröhre, Stimmritze, Gaumen, Mundhöhle, Zunge, nen, Lippen u. s. w. bestehenden Sprachorganen, hervorgebracht den, welche ein komplizirtes physikalisches System bilden. diesem Systeme geht der Laut nicht von einem einzigen, sondern von r vielen, örtlich verschiedenen Punkten aus. Ausserdem haben einzelnen Theile dieses schallenden Systems sehr verschiedene mecha-sche und physikalische Eigenschaften: es sind dabei harte und che Körper, Häute, elastische Medien u. s. w. in den mannichfaltigsten men und Zuständen betheiligt. Hierdurch wird es möglich, sehr mar-te Klangfiguren und sehr abrupte Wechsel in den Klangfiguren d dadurch artikulirte Laute hervorzubringen. Jeder Vokal, selbst nn derselbe dauernd mit gleichmässiger Kraft und mittlerer Höhe önt, ist kein einfacher oder doch kein homogener Ton. Die Kon-anten sind die Mittel zur Hervorbringung abrupter Wechsel in Klangfiguren.

Demgemäss ist es so schwer, die Laute der menschlichen Sprache ch Instrumente nachzuahmen. Ausserdem erläutern sich hierdurch nche Erscheinungen. Unter Anderem erkennt man, dass der mensch-ıe Laut, selbst wenn er dauernd und gleichmässig ertönt, wenn o wegen der Konstanz und Schwäche der Klangfigur die mittlere brationsgeschwindigkeit oder die Tonhöhe des Lautes zu vor-gender Geltung kömmt, doch eben desshalb, weil er kein einfacher oder

homogener Ton ist, immer einen eigenthümlichen Klang oder Charakter behält, welcher die Eigenthümlichkeit des menschlichen Gesanges ausmacht. Die Macht des Gesanges erklärt sich aber aus der unmittelbaren Verbindung der Tonverhältnisse der Musik, welche direkt Empfindungen erwecken, mit den Klangfiguren der Rede, welche direkt Vorstellungen hervorrufen, also die Wirkung der Musik durch Individualisirung der Gefühle ungemein erhöht.

Wenn man ferner erwägt, dass je weiter sich das Ohr von dem sprechenden Munde entfernt, desto mehr die von einzelnen Punkten der Sprachorgane ausgehenden Töne parallele Richtungen annehmen, was die Klangfigur ändert und schwächt, dass ferner durch die Ausbreitung des Schalles immer grössere Luftmassen in Bewegung gesetzt werden, was zu einer Verlängerung des Hallens und gleichzeitigen Schwächung des Tones führt; so ist klar, dass menschliche Rede in viel näheren Entfernungen unverständlich werden muss, als Musik, und dass mit zunehmender Entfernung von dem Sprechenden die Sprachlaute immer mehr den Charakter von Tönen annehmen werden, dass jedoch im Sprachrohre, wo die Ausbreitung des Schalles verhindert wird, nicht bloss die Intensität, sondern auch die Deutlichkeit der Rede sich länger erhält.

Aus der Nothwendigkeit der Bildung von Klangfiguren behuf der direkten Wirkung der Rede auf den Verstand folgt umgekehrt die Nothwendigkeit eines komplizirten Sprachorgans zur Erzeugung der Rede und eines komplizirten Laut- oder Formensystems für die Sprache selbst. Mit einfachen Sprachwerkzeugen und mit einem einfachen Sprachbaue ist eine hohe oder geistvolle Sprache unmöglich. Ebenso erfordert die vollkommene Sprache, dass die Tonverhältnisse keine überwiegende Kraft erlangen, dass also die Vibrationszustände sich rasch abbrechen und verändern lassen, um eine kräftige Artikulation der Laute zu erzeugen. Ganz fehlen kann ja der Ton in der Rede nie, weder in der Sprache überhaupt, noch in einer speziellen Rede; je abstrakter aber die spezielle Rede ist, desto mehr treten die Tonverhältnisse gegen die Lautverhältnisse zurück; je gefühlvoller die Rede ist, desto mehr treten die Tonverhältnisse hervor.

Die Stimme der Thiere ist einfach und bekundet schon dadurch ihre Gedanken- und Gefühlsarmuth; sie ist auch meistens gedehnt, namentlich bei den Vögeln, trägt also hinsichtlich der Elementarlaute nicht den Charakter der Sprache. Man kann daraus schliessen, dass durch Klangfiguren, also überhaupt nicht durch reine Formen auf die Thierseele gewirkt werden kann, dass Diess wenigstens nicht der natürlichen Organisation des Thieres entspricht, dass also die Effekte der reinen Formen von keiner grossen Kraft sind. Allerdings sind die Vollkommenheitsstufen unter den verschiedenen Thierklassen verschieden: der Hund, das Pferd, der Elephant sind für die menschliche Sprache empfindlicher, als Vögel und viele anderen Thiere; immer aber erscheint die Wirkung als eine sehr untergeordnete in Beziehung auf Erregung bestimmter Gedanken.

§. 78.

Das Gefühl.

1. **Allgemeine Funktionen des Gefühls.** Wie die Sehnerven ir die Lichtvibrationen des Äthers und die Gehörnerven für die challschwingungen des Ponderabelen, so sind die sensibelen ler Gefühlsnerven für mechanischen Druck und Zug, oder für ie Kraftäusserungen des Ponderabelen empfindlich. Ich nehme n, dass prinzipiell die Molekularverschiebungen oder die mechaischen Molekularveränderungen oder die Dichtigkeitsveränerungen der von sensibelen Nerven durchzogenen Körpertheile die Erzeuger der spezifischen Thätigkeit der Gefühlsnerven sind.

Demzufolge reagiren diese Nerven nicht bloss auf unmittelbaren mehanischen Druck und Zug, sondern auch auf die Einwirkungen der Värme, welche bekanntlich die Molekularbeschaffenheit aller Stoffe beeinusst, und auch auf Chemikalien und auf alle Stoffe, insofern sie vernöge ihrer chemischen Affinitäten oder sonstigen Neigungen das Moleulargefüge oder die mechanische Molekularbeschaffenheit, berhaupt die Dichtigkeit der von jenen Nerven bedienten Gebilde zu ndern streben.

Obgleich nur eine einzige Nervenart, die sensibelen Nerven, uf diese Einflüsse reagirt; so nimmt man doch an, dass durch die hier n Rede stehenden äusseren Angriffe zwei wesentlich verschiedene Sinne eschäftigt werden: der Gefühlssinn und der Tastsinn. Der erstere oll Empfindungen erwecken, der letztere dagegen uns Vorstellunen von den räumlichen Verhältnissen der berührten Objekte verschaffen.

Ich halte diese Auffassung für ganz irrig und nehme an, dass die Thätigkeiten der sensibelen Nerven nur einen einzigen Sinn, das Geühl, beschäftigen und in der diesem Sinne gesteckten Sphäre Eindrücke ıervorbringen, welche in allen Stücken den Eindrücken irgend eines anleren Sinnes, z. B. des Gesichtes, analog sind.

Jeder Sinneseindruck, als das Resultat der Einwirkung eines Objekes auf den menschlichen Organismus oder der Wechselwirkung zwischen beiden giebt uns eine Vorstellung von den quantitativen Eigenschaften des Objektes, also von seinen räumlichen Verhältnissen, ferner ine Empfindung von seinen qualitativen Eigenschaften (Farbe, Ton u. s. w.). Ausserdem empfangen wir die Wirkung der übrigen Grundeigenschaften des Objektes, wovon wir gegenwärtig nur seine Intensität oder Stärke oder den Grad seiner Thätigkeit nennen (Lichtintenität, Schallstärke).

Wie wir nun durch das Gesicht und das Gehör eine Vorstellung von den räumlichen Verhältnissen, eine Empfindung von der Qualität und einen Eindruck von der Intensität des Objektes erlangen, ebenso erzeugt das Gefühl durch ein und denselben Prozess der sensibelen Nerven eine Vorstellung von den räumlichen Verhältnissen, eine Empfindung von der Qualität und einen Eindruck von der Intensität

oder Kraft des Objektes. Die erstgenannte Vorstellung ist es, welche man irrthümlich als die Funktion eines besonderen Sinnes und Nervenapparates, des Tastsinnes, anzusehen pflegt.

Nach unserer Auffassung ist die Vorstellung von den räumlichen Verhältnissen des berührten Objektes und die Empfindung der besonderen Eigenschaften dieses Objektes, sowie der Eindruck von dessen Intensität das gemeinsame Resultat der Thätigkeit einunddesselben Sinnesapparates, nämlich des Gefühls.

Vorstellung und Empfindung sind die nothwendig zusammengehörigen Grundeigenschaften jeder geistigen Regung. Es kann oft die eine Eigenschaft schärfer oder kräftiger ausgeprägt sein, als die andere oder die Hauptrolle spielen; fehlen kann sie aber nie. Die Zusammengehörigkeit oder das gleichzeitige Stattfinden jener beiden Grundeigenschaften, also die Verschmelzung der Empfindung mit der Vorstellung räumlicher Beziehungen hat die ganz natürliche Folge, dass uns die Empfindung an dem vorgestellten Orte stattzufinden scheint oder mit anderen Worten, dass wir das Objekt an dem vorgestellten Orte sehen, hören oder fühlen.

Ebenso muss jede Thätigkeit eine gewisse Intensität haben: wir sehen, hören oder fühlen also ein mit einer gewissen Intensität thätiges Objekt an einem vorgestellten Orte.

2. **Allgemeine Eigenschaften des äusseren Reizes und des sensibelen Nervenprozesses.** Jeder Nervenprozess ist eine Thätigkeit, eine Entwicklung von Arbeit mit periodischem Wechsel der Richtungen, ein Vibrationszustand, kein Zustand des Gleichgewichts, der Spannung oder der Ruhe. Es ist nicht nothwendig, dass das Agens, welches einen solchen Vibrationszustand in der Nervenfaser hervorbringen soll, sich selbst in isochronen Schwingungen befinde. Diess ist allerdings bei der Affektion des Sehnerven durch die Vibrationen des Äthers und bei der Affektion des Gehörnerven durch die Vibrationen des Ponderabelen der Fall; beim Gefühlsnerven dagegen wird der Prozess durch mehr oder weniger unregelmässige Angriffe hervorgerufen.

Fassen wir, um den Vorgang zu veranschaulichen, zunächst einen anorganischen Körper ins Auge. Wenn irgend ein Körper unter einen mechanischen Druck gesetzt wird; so werden seine Moleküle gezwungen, sich gegeneinander zu verschieben: es entsteht also Bewegung zwischen den Molekülen. Jede Molekularbewegung äussert sich auf zweierlei Weise: einmal durch die allgemeine Verschiebung des gesammten Systems von Molekülen, also durch eine allgemeine Kompression oder Ausdehnung, welche mit derselben Allmählichkeit sich vollzieht, wie der äussere Druck sich entwickelt; zweitens durch eine Vibration, in welchen die Moleküle durch die Fortpflanzung der komprimirenden Kräfte unter der Herrschaft des Elastizitätsgesetzes versetzt werden. Die letztere Vibration, welche stets ein Begleiter der allmählichen Spannungsveränderung ist, bildet einen verhältnissmässig lange andauernden, sehr allmählich erlöschenden Bewegungszustand. Die geringste Störung des zuerst genannten allgemeinen Spannungszustandes, also die leiseste Veränderung des erzeugenden Druckes, sei es hinsichtlich seiner

ärke oder hinsichtlich seiner Richtung, ruft sofort eine neue und langm verklingende Vibration hervor. Da es nun äusserst schwierig ist, n äusseren Druck absolut unveränderlich zu erhalten; so wird der geückte Körper fortwährend von Vibrationsschauern erbeben. Von allen esen Schauern werden übrigens diejenigen, welche bei der ersten Einrkung des äusseren Druckes, nämlich während der Zeit der allgemeinen erdichtung des Körpers entstehen, sich durch besondere Kräftigeit auszeichnen, wogegegen die Schauer, welche aus den unregelmässin, durch Zufälligkeiten bedingten Schwankungen des äusseren ruckes entspringen, desshalb in der Regel schwach sein werden, weil ese Schwankungen des Druckes selbst meistens unerheblich sind.

Bei einem organischen Körper verhalten sich die Dinge ganz nlich. Jeder äussere Druck ruft also Molekularvibrationen in den drückten Körpertheilen hervor und diese erwecken in der Substanz der nsibelen Nerven den Gefühlsnervenprozess. Dass die Schwingungen s letzteren Prozesses mit den Vibrationen der äusseren Körperorgane ochron seien, ist nicht unbedingt nothwendig, wiewohl zwischen bein Schwingungszuständen ein gewisses nahes Verhältniss bestehen wird.

Der Druck auf einen Körper äussert aber noch eine andere, von der rstehenden unabhängige Wirkung. Durch Pressung oder Spannung rd jeder Körper zu einer stofflichen oder chemischen Veränderung nöthigt. Dieselbe ist bei mässigem Drucke zwar unerheblich, im orgaschen Körper aber, besonders im animalischen gestaltet sie sich doch unter dem Einflusse der Lebenskraft bei starken Pressungen zu nem lebhaften organischen Stoffwechsel. Dieser Stoffwechsel, welcher lbst eine oszillirende Thätigkeit ist, ruft im sensibelen Nerven ebenfalls nen Vibrationszustand hervor, welcher Empfindung erzeugt. Diese Emndung ist von der zuerst erwähnten verschieden; sie ist jedoch hwach und unmerkbar bei mässigen oder gewöhnlichen Pressungen und tt erst bei starken Druckkräften auf, wo sie dann den Namen Schmerz igt.

Wenngleich nun eine Affektion des peripherischen Endes eines Nern nur durch Vibrationen irgend einer Art seine Wirkung nach dem ntralen Ende oder nach dem Gehirne fortpflanzen kann; so folgt doch eraus nicht, dass das Grundwesen dieser Wirkung vornehmlich in m Vibrationszustande sein Maass finde. Für die physiologische irkung der Gefühlsnerven halte ich in der That nicht die Vibration, elche jeder elementare Eindruck im Gehirne erzeugt, oder durch deren ermittlung der Eindruck im Gehirne entsteht, für das Hauptsächliche: 1 bin vielmehr der Ansicht, dass die durch diese Vibration erzeugte eränderung des materiellen Bestandes am zentralen Nervende das Wesentliche ist, und zwar soweit diese Veränderung sich auf die echanische Molekularbeschaffenheit oder Dichtigkeit, nicht f die chemische Beschaffenheit, also z. B. auf Kohäsion, Härte, higkeit u. dgl., im Allgemeinen auf die mechanischen Kräfte des nderabelen bezieht.

3. **Erklärung einiger Erscheinungen.** Aus Vorstehendem ergiebt h sofort die Erklärung mehrerer Erscheinungen. Wir erkennen durch

das Gefühl einen Gegenstand, welcher sich mit sanftem Andrängen mit uns in Berührung setzt, am besten in den ersten Momenten der Berührung. Dauert die Berührung unter gleichmässigem Drucke lange; so verliert sich immer mehr und mehr das Gefühl und die Erkenntniss des Gegenstandes. Schliesst man z. B. einen eckigen Gegenstand in die Hand ein oder legt man die Hand auf einen geformten Gegenstand; so kann man das allmähliche Erlöschen des Gefühls und der Vorstellung deutlich wahrnehmen.

Ist der Druck des äusseren Körpers sehr stark; so verlängert sich natürlich die Periode des Fühlens und Erkennens. Bei übermässiger Steigerung des Druckes wird das Gefühl Schmerz. Hierunter verstehe ich allgemein den Grad von Nerventhätigkeit, welcher eintritt, sobald durch die Grösse des Druckes die organische Elastizitätsgrenze überschritten, also der organische Bestand des gedrückten Körpertheils mehr oder weniger aufgehoben und der diesem Zustande entsprechende besondere Stoffwechsel eingeleitet wird. Selbstverständlich muss sich diese besondere Thätigkeit mit der Stärke und auch mit der Dauer des Druckes steigern, weil sich hiermit die Abweichung von dem Normalzustande, also der zuletzt erwähnte Stoffwechsel und überhaupt die zur Aufrechterhaltung des organischen Bestandes sich entwickelnde Thätigkeit verstärkt. Demzufolge erhöht sich der Schmerz mit der Dauer des äusseren Angriffes; ja aus mässigem Drucke kann mit der Zeit Schmerz entstehen. Schmerz ist hiernach nicht bloss ein höherer Grad, sondern eine besondere Art von Gefühl. Man kann das Gefühl eines animalischen Körpers dem normalen, unschädlichen Vibrationszustande vergleichen, welcher in einem anorganischen Körper durch Kräfte erweckt wird, welche unterhalb der Elastizitätsgrenze bleiben und die Stoffbeschaffenheit des Körpers nicht alteriren, wogegen Schmerz dem Zustande der stofflichen Zersetzung, Zerstörung, Umkrystallisation und sonstigen Degneration zu vergleichen ist, in welchen ein anorganischer Körper durch den Angriff von Kräften versetzt wird, welche seine Elastizitätsgrenze überschreiten.

Wenngleich sich demnach bei starken Pressungen der Schmerz mit der Dauer der Berührung steigern kann; so vermindert sich doch immer das Tastgefühl und die Erkenntniss des drückenden Gegenstandes.

Ein Gegenstand, welcher viel kälter oder viel wärmer ist, als unser Körper wird bei der Berührung deutlicher erkannt und die Erkenntniss erhält sich bei gleichmässigem Drucke längere Zeit hindurch. Denn durch den Austausch der Temperaturen zwischen den berührenden Organen und den berührten Stellen des Gegenstandes wird offenbar trotz der mechanischen Ruhe eine lebhaftere und länger dauernde Nerventhätigkeit unterhalten.

Endlich ist klar, dass ein Wechsel der Intensität oder der Richtung des Druckes wesentlich zur Deutlichkeit der Erkenntniss beitragen muss, weil mit jeder Erneuerung des Druckes auf eine Nervenfaser der vorhin erwähnte Anfangszustand eines äusseren Impulses eintritt, welcher das lebhafteste Erschütterungssystem erzeugt, während die gleich-

ıige Dauer eines Druckes das allmähliche Erlöschen der Empfindung eiführt.

Demgemäss erkennen wir einen Gegenstand am vollkommensten, in dem ihn befühlen oder betasten, weil wir durch den Wechsel der :kstellen bewirken, dass sich die Affektionen der sensibelen Nerven erneuern, dass also die Thätigkeit derselben lebendiger wird. Diese sache, welche als das Ergebniss einer besonderen Sinnesfunktion utet ist, hat zu der Annahme eines besonderen Tastsinnes geführt. n man sich überzeugt, dass die Erscheinung keinen anderen, als den bezeichneten Grund hat, wird man wohl thun, die Bezeichnung tsinn wieder aufzugeben. Übrigens könnte es immer nützlich sein, Namen Tastgefühl zur Bezeichnung der besonderen Gefühlsart ıbehalten, welche durch sanften mechanischen Druck hervorge- ı wird. (Vergl. No. 4.)

Im Übrigen ist, wie wir weiter unten in No. 8 zeigen werden, der :hsel der Verhältnisse nicht bloss wegen der lebhafteren Funktioni- der Nerven, sondern auch zur Vollständigkeit der Erkenntniss aller lichen Beziehungen nothwendig.

4. Art und Charakter des Gefühles. Mechanischer Angriff zwar auf das von einer sensibelen Nervenfaser versorgte Gebilde, Muskel, Sehne, Haut, Knochen, Zahn oder irgend ein anderer Theil es Leibes, welcher sensibele Nerven enthält, ist der äussere Reiz, ıer die Gefühlsnerven in Thätigkeit setzt oder den sensibelen Nerven- erzeugt. Unter mechanischem Angriffe wollen wir hier irgend eine ıderung des Molekularzustandes verstehen, bei welcher nicht die Ver- ung des Äthers, auch nicht die Veränderung der chemischen und netischen Beziehungen, sondern nur die Veränderung der Beziehun- er ponderabelen Massentheilchen unter der Herrschaft der mechani- Kräfte (Attraktion, Kohäsion, Elastizität u. s. w.) das Wesentliche ist. lings sind mit Veränderungen der einen Art, z. B. mit Veränderun- ıer Beziehungen des Ponderabelen, stets Veränderungen der anderen n Arten verbunden: allein dessenungeachtet können die ersteren als Iauptsachen oder wesentlichen Kriterien eines Prozesses, die letz- dagegen als Nebensachen erscheinen. So findet bei der Lichtbe- ıng in einem Körper stets Bewegung der Äthers, Bewegung des Pon- ɔelen, Chemismus und Kosmetismus statt: gleichwohl erscheint die gung des Äthers als das Charakteristische des Lichtprozesses. ınlicher Weise ist für den im äusseren Gliede unseres Körpers statt- nden Prozess, welcher die sensibelen Nerven erregt, die Bewegung Ponderabelen das Wesentliche und Verdichtung das Hervorra- ᴐ.

Diese Bewegung des Ponderabelen kann wegen des eben genannten nmenhanges mit den ätherischen und mit den chemischen Verände- ɔn auf dreierlei Weise bewirkt werden. Erstens direkt durch me- ıische Kräfte, wie Druck oder Zug, welche das Ponderabele ttelbar affiziren; zweitens durch kalorische Kräfte, welche als Er- nung oder Abkühlung direkt auf den Äther wirken, aber die gung des Ponderabelen durch Ausdehnung oder Zusam-

menziehung zur Folge haben; drittens durch chemische oder allgemeiner durch stoffbildende Kräfte, welche auf die Affinität der stofflichen Bestandtheile der Moleküle wirken und dadurch Ausdehnungen, Kontraktionen und Verschiebungen des Ponderabelen herbeiführen.

Wenngleich in den Fundamentalbeziehungen gleich, so unterscheiden sich doch die Bewegungen, welche das Ponderabele unter der Wirkung dieser drei Kräfte annimmt, durch besondere Eigenthümlichkeiten. Diese Eigenthümlichkeiten werden sich auch dem davon erweckten Nervenstrome mittheilen, d. h. die Art, wie die Elemente der Substanz einer sensibelen Nervenfaser schwingen, wird mehr oder weniger von der Art der Erregung abhängen und Diess wird der Empfindung eine gewisse Eigenthümlichkeit verleihen.

Nach Vorstehendem wird es daher drei besondere Grundarten von Gefühlen geben: das Tastgefühl für mechanischen Druck, das Wärmegefühl für die Temperatur und ein Gefühl für die aus der Affinität entspringende Affektion, wodurch zwar nicht der Stoffgehalt nach seiner chemischen Qualität unterschieden, aber die allgemeine Neigung zur Verbindung oder Trennung, überhaupt zur Bewegung der Massentheilchen erkannt wird. Das letztere Gefühl entsteht z. B. bei der Wirkung von Zugpflastern, reizenden Salben, ätzenden Substanzen u. s. w. Ich nenne dieses Gefühl das Konstitutionsgefühl für Schmerz, und bemerke, dass die drei Reizmittel, welche die drei Grundarten der Gefühle erzeugen, je nach ihrem Grade eine positive und eine negative Seite zeigen; so ist Zug negativer Druck, Kälte negative Wärme, Behagen negativer Schmerz.

Das Konstitutionsgefühl kömmt weniger bei Einwirkungen auf die äussere Haut vor, weil erst starke chemische Reagentien erforderlich sind, um in der ziemlich harten, widerstandsfähigen und nervenlosen Epidermis Affektionen von merkbarer Empfindlichkeit hervorzurufen. Dagegen spielt es eine sehr wesentliche Rolle bei den Einwirkungen auf die inneren Organe unseres Körpers, welche nicht mit festen Häuten umkleidet sind, sondern eine von Blut und Säften durchdrungene, lockere und der chemischen Reaktion leicht zugängliche und vermöge des vitalen Stoffwechsels in unaufhörlicher chemischer Veränderung begriffene Masse darstellt. Das Konstitutionsgefühl ist es hauptsächlich (neben dem Wärmegefühle für die Schwankungen der thierischen Wärme und neben dem Tastgefühle für die gegenseitigen Pressungen der Muskeln, Knochen und sonstigen Organe), welches uns Rechenschaft giebt von dem Bestande und dem Befinden der inneren Organe unseres Körpers.

Jedes dieser drei Gefühle kann einen so hohen Grad erreichen, dass der organische Zusammenhang der affizirten Moleküle bedroht und schliesslich aufgehoben wird, indem die organische Elastizitätsgrenze überschritten wird. Hiermit ist immer ein besonderer und erhöhter Stoffwechsel verbunden, welcher das Gefühl des eigentlichen Schmerzes erzeugt. Es ist klar, dass der höchste Grad der Affektion, die vollkommene Zerstörung des Molekularzusammenhanges, ein Zustand ist, bei welchem die Eigenthümlichkeit der erzeugenden Ursache so sehr in den

itergrund tritt, dass derselbe sich nahezu, wennauch nicht vollständig einundderselben Empfindung ausspricht. Die aus heftigem Drucke er durch Zerreissung, die aus der Verbrennung oder aus star- Kontraktion bei Frost, die von ätzenden Substanzen, Säuren, gpflastern u. s. w. entstehenden Schmerzen haben eine grössere Ähn- ikeit, als die aus schwachen Einwirkungen dieser Kräfte entspringenden fühle.

Da sich Gefühlsnerven durch fast alle Organe verbreiten und da jede ganische Thätigkeit, wenn sie intensiv genug wird, mit einem so erheb- ien Stoffwechsel verbunden ist, dass dadurch in den Gefühlsnerven das nstitutionsgefühl bemerbar wird; so leuchtet ein, wie angestrengtes ien, Hören, Arbeiten, oder intensives Licht, starker Schall, heftiger uck, hohe Temperatur, ätzende Speisen, penetrante Riechstoffe das onstitutionsgefühl erregen und schliesslich Schmerz erzeugen.

Es ist klar, dass in jeder der drei Grundarten von Gefühlen, na- ntlich aber in dem Tastgefühle eine grosse Mannichfaltigkeit der ipfindung durch den Wechsel der elementaren Gefühlsein- ücke hervorgebracht werden kann. Wenn dieser Wechsel sehr rasch olgt, geht die Erkenntniss der einzelnen Zustände verloren und es det sich ein Gesammteindruck, vermöge dessen wir z. B. unterschei- n, ob ein Körper hart, weich, rauh, glatt, elastisch, biegsam, flüssig, ob in Ruhe oder in Bewegung ist, ob er zittert u. s. w.

Die letztere Eigenthümlichkeit des Gefühles, welche aus der Form elementaren Gefühlseindrücke oder aus der Form der Affek- onskurve entspringt, nennen wir den Charakter des Gefühles. Die rache hat nur wenige Ausdrücke für die verschiedenen hervorstechenden genschaften dieses Charakters: es gehören dahin Ausdrücke wie ein ste- ndes, brennendes, prickelndes, taubes Gefühl.

Während die Art des Gefühles der Farbe des Lichtes und dem ne des Schalles analog ist, entspricht der Charakter des Gefühles dem anze des Lichtes und dem Klange des Schalles.

5. Erkenntniss der räumlichen Verhältnisse des Objektes.

würde uns hier zu weit führen, über die Eigenthümlichkeiten des Vi- itionszustandes des Nervenprozesses, welche die verschiedenen fühlsarten bedingen, eingehende Betrachtungen anzustellen; wir be- ränken uns darauf, die materielle Grundlage für die räumlichen Ei- nschaften des durch diese Gefühle erkannten Objektes näher zu be- chnen.

An einer äusseren Einwirkung, wenn sie vollständig und be- mmt ist, kennzeichnet sich zunächst die Richtung, in welcher das nesorgan affizirt wird. Wir nehmen aber an, dass die Enden der sen- elen Nerven, ebenso wie die Enden der Sehnerven (die Stäbchen) ver- ge ihrer Organisation die Fähigkeit haben, den Nervenprozess in der chtung ihrer Enden aufzunehmen und zur Empfindung zu bringen. mgemäss empfinden wir den äusseren Reiz, welcher das bestimmte Ende er Nervenfaser trifft, in einer bestimmten, durch die Lage der periphe- chen Endstrecke dieser Faser bedingten Richtung.

Es ist möglich und nach der Anatomie der sensibelen Nerven wahr-

scheinlich, dass eine primitive Nervenfaser sich gegen die Peripherie hin in eine grosse Zahl nach den verschiedensten Richtungen gekehrte Enden verästelt und dadurch fähig wird, innerhalb eines gewissen Bezirkes äussere Impulse aus den verschiedensten Richtungen aufzunehmen und zur Erkenntniss zu bringen. Irgend eine beliebig gerichtete äussere Einwirkung, welche einen bestimmten Punkt oder kleinen Bezirk unserer Körpermasse trifft, wird also vornehmlich die in dieser Richtung liegende Nervenspitze in Thätigkeit setzen und demnach in ihrer wahren Richtung empfunden werden.

Die gleichzeitige Affektion mehrerer Nervenenden giebt uns die Vorstellung ebenso vieler und besonders gerichteter Elementaraffektionen, also die Vorstellung eines gewissen Systems von Affektionen oder Kräften und damit die Vorstellung der Resultante dieses Systems. Ist dieses System von der Art, dass seine Resultante eine einzige, von einem bestimmten Punkte des Raumes ausgehende Kraft sein kann; so giebt uns die Empfindung dieses ganzen Systems von Theilkräften mit der Vorstellung der Resultante offenbar die Vorstellung der in dem fraglichen Punkte des Raumes, also in einer bestimmten Entfernung und Lage wirkenden Kraft, d. h. wir empfinden ein Objekt als einen aus einem bestimmten Orte des Raumes und in einer bestimmten Richtung uns beeinflussenden Punkt.

Ist das System von elementaren Kräften eine Komposition mehrerer Theilsysteme, welche in einer bestimmten Beziehung zueinander stehen; so muss sich dieses, indem wir das ganze System in allen seinen Elementen empfinden, ebenfalls in unserem Gefühle ausprägen. Wir empfinden überhaupt neben den Elementarkräften jede beliebige Komposition derselben, also auch jedes Theilsystem, welches sich durch irgend einen besonderen gesetzlichen Zusammenhang auszeichnet. Hierdurch erlangen wir also durch das Gefühl die Vorstellung von mehreren wirksamen Punkten, also von einem ausgedehnten Objekte. Der Zusammenhang zwischen den gedachten Theilsystemen giebt uns den Zusammenhang der einzelnen Punkte jenes Objektes zu erkennen; wir empfinden also die Form, die Lage, die Entfernung und alle sonstigen räumlichen Eigenschaften des Objektes, ferner aber auch die mechanischen Eigenschaften desselben, also seine Härte, seine Rauhigkeit, seine Elastizität, seine Biegsamkeit, seine Flüssigkeit und dergl.: denn während durch die geometrischen Verhältnisse des Zusammenhanges jener Kräftesysteme die räumlichen Beziehungen des wirkenden Objektes bedingt sind, werden durch die Modifikationen, welche jener Zusammenhang während der Wirkung des Objektes erleidet, die letzteren mechanischen oder physikalischen Eigenschaften erkannt.

Wegen der organischen Verbindung und der Elastizität der Gewebe unseres Körpers erzeugt jede einfache Affektion, auch wenn sie auf einen einzelnen Punkt gerichtet ist, eine Form- und Dichtigkeitsveränderung unseres gesammten Körpers. Diese Veränderung ist zwar in der Nachbarschaft der affizirten Stelle am stärksten und verliert sich mit der Entfernung von dieser Stelle allmählich; allein absolut null wird sie selbst in den entlegensten Organen nicht. Durch die Affektion der nicht direkt angegriffenen, sondern durch die gegenseitige Beeinflussung in Thätigkeit

-setzten Körpertheile pflanzt sich also ein äusserer Eindruck durch un-ren ganzen Körper fort. Dieser Körper ist selbst ein System von be-immtem gesetzlichen Zusammenhange. Jeder äussere Impuls ssert sich also gegen ein grosses, komplizirtes und biegsames System n widerstehenden Massen und Kräften, welches sich gegen jenen äusse-n Impuls ins Gleichgewicht setzt, also solche inneren Veränderungen rnimmt, dass deren Resultante dem äusseren Impulse gleich und ıtgegengesetzt ist.

6. Muskelgefühl. Offenbar wird jede Veränderung, welche im neren unseres Körpers vor sich geht, vermöge der daselbst befindlichen nsibelen Nerven ebenso gut wie ein äusserer Impuls empfunden. Diese npfindungen bilden das sogenannte Muskelgefühl, worunter keine -sondere Gefühlsart, sondern nur die durch gegenseitige Beeinflussung r Körpertheile hervorgerufenen Gefühle zu verstehen sind. Es ist ein-ıchtend, dass dieses Muskelgefühl sowohl bei den freiwilligen Bewe-ıngen unserer Glieder, als auch bei den unfreiwilligen Bewegun-ɔn des Magens, der Gedärme, des Blutes u. s. w. auftritt.

Durch die Inanspruchnahme der unendlich vielen Elemente unseres örpers muss die Erkenntniss des äusseren Systems, welches diese Inan-ruchnahme bewirkt und mit den entwickelten Thätigkeiten unseres Kör-rs im Gleichgewichte steht, ungemein an Klarheit gewinnen.

7. Intensität des Gefühles. Neben den räumlichen Verhältnissen r Resultante der Kräfte, womit ein Körper auf uns einwirkt, erkennen r auch die Intensität dieser Resultante und der einzelnen Komponen-a. Die materielle Grundlage für die Erkenntniss der Intensität einer echanischen Kraft liegt in der Grösse der mechanischen Verände-ıng, welche sich nach No. 2 im Sensorium in Folge des sensibelen Ner-nprozesses einstellt. Diese Grösse hat ihre unmittelbare materielle rundlage in dem periodischen Maximum der Verdichtung und Ver-ınnung, welches bei jedem Vibrationszustande, also auch bei dem sen-belen Nervenprozesse stattfindet.

8. Akkommodation. — Beurtheilung der Entfernung. Das Gleich-wicht unseres Körpers gegen die von aussen wirkenden Kräfte erfordert cht bloss die unbewusst vor sich gehende Thätigkeit der Elastizität r Organe, sondern auch die Thätigkeit des motorischen Apparates. amit ein Druck sich gegen irgend einen Theil unseres Körpers, z. B. gen die Hand äussern könne, müssen wir, wenn das drückende Objekt ıdringt, die Hand (überhaupt den ganzen Körper) entgegenstemmen, ɔzu die Wirkung des motorischen Apparates erforderlich ist. Meistens folgt diese Thätigkeit instinktiv, ohne dass wir sie beachten. Wir nd uns ihrer in der Regel besser bewusst, wenn nicht das Objekt, son-rn wir selbst die Veranlassung zum Drucke geben, wenn wir also ein bjekt betasten.

Diese Herstellung des Gleichgewichtes gegen den äusseren An-iff durch angemessene Einrichtung unseres Körpers durch den motori-hen Apparat ist diejenige Thätigkeit, welche die Akkommodation des

Körpers auf das Objekt genannt werden muss und der Akkommodation des Auges genau zur Seite steht.

Selbstverständlich kann sich der Körper, da er ein sehr komplizirtes und flexibeles System darstellt, besser und schlechter auf ein Objekt akkommodiren; ja es kann ein Angriff bei ganz unvollständiger Akkommodation erfolgen. Wenngleich die Akkommodation (ebenso wenig wie beim Sehen) durchaus nicht prinzipiell die Erkenntniss des Objektes bedingt, sondern nur die Genauigkeit der Wirkung desselben erhöht; so beeinflusst sie doch aus letzterem Grunde die Schärfe der Erkenntniss. Wir werden daher ein Objekt vollständiger erkennen, wenn wir unseren Körper besser darauf akkommodiren. Durch sorgfältiges, der Oberfläche, der Starrheit, Biegsamkeit und sonstigen Beschaffenheit des Objektes angepasstes Betasten werden wir dasselbe deutlicher erkennen, als durch unvollständiges Berühren mit steifer Hand.

Wir müssen jetzt, als etwas sehr Beachtenswerthes, darauf aufmerksam machen, dass wenn ein Objekt mit der Kraft p vermittelst eines Systems äusserer Gegenstände auf unseren Körper einwirkt und unser Körper sich mit jenem Objekte dergestalt ins Gleichgewicht gesetzt hat, dass er an bestimmten Punkten $b, c, d \ldots$ die Widerstände $q, r, s \ldots$ in bestimmten Richtungen äussert, aus diesen Kräften $q, r, s \ldots$ immer nur die Grösse und die Richtungslinie der Resultante p, nicht aber die Lage ihres Angriffspunktes in dieser Richtungslinie, also nicht die eigentliche Entfernung des wirkenden Objektes erkannt werden kann.

Um diese Entfernung zu erkennen, ist nothwendig Veränderung des äusseren Systems, durch welches die Kraft p auf unseren Körper wirkt, oder Veränderung des Systems der Berührungsstellen an unserem Körper erforderlich. Aus dieser Veränderung ergiebt sich die Erkenntniss verschiedener Richtungslinien, in welchen der Angriffspunkt der Kraft p liegen muss, also der gemeinschaftliche Durchschnittspunkt dieser Richtungslinien und dadurch die Lage oder Entfernung des Hauptobjektes, welches die Kraft p entwickelt.

Zur richtigen und scharfen Erkenntniss dieser Entfernung muss die fragliche Veränderung eine dem äusseren Systeme und dem Systeme der Berührungsstellen angemessene sein.

Wir sehen also, zur vollkommenen Akkommodation unseres Körpers an ein äusseres Objekt gehört nicht bloss, dass wir unseren Körper mit dem äusserem Objekte ins Gleichgewicht versetzen, sondern auch, dass wir unseren Körper über dem Objekte passend bewegen oder das Objekt betasten. Beide Funktionen erfüllt der motorische Apparat; die letztere, die Bewegung ist insbesondere nothwendig, um die Entfernungen der Objekte zu bestimmen.

Ausserdem ist ein Wechsel der Berührungsstellen nach No. 2 eine wesentliche Bedingung für die Lebhaftigkeit der sensibelen Nerventhätigkeit. Aus allen diesen Gründen giebt uns das eigentliche Betasten oder Befühlen eine vollständigere Vorstellung von einem Gegenstande, als Berührung mit ruhendem Organe.

Obgleich hiernach Akkommodation an das Objekt zu einer vollkommenen Erkenntniss der räumlichen Eigenschaften nothwendig ist; so ist doch nicht die Akkommodationsthätigkeit oder die Kraftent-

icklung des motorischen Apparates die materielle Grundlage der rkenntniss der räumlichen Verhältnisse des Objektes. Die motoschen Nerven empfinden überhaupt nicht, und man überzeugt sich leicht, ıss die Bewegungen und Anstrengungen, welche behuf Akkommodation ır Glieder ausgeführt werden müssen, durchaus nicht ein solches System ın Kräften darstellen, dessen Resultante dem drückenden Objekte eich ist. Das Urtheil über die räumlichen Verhältnisse stützt sich vielehr, analog dem Vorgange beim Sehen, unmittelbar auf die Thätigkeit ɜr sensibelen Nerven.

Zur Erläuterung des Vorstehenden sind einige der einfachsten Fälle in ig. 516 bis 520 dargestellt. a bezeichnet irgend einen materiellen Punkt s Hauptobjekt, welches mit der Kraft p vermittelst des Nebenobjektes b oder $b\,a\,c$ auf die sensibele Nervenfaser b oder b, c drückt.

In Fig. 516 ist das Nebenobjekt ein Stab $a\,b$, welcher in der Richung der Kraft p liegt. Der animalische Körper widersteht alsdann bei b it der Kraft $q = p$ in der Richtung des Stabes. Bei dieser einfachen ıd elementaren Affektion wird nur die Richtung und die Intensität kannt, in welcher das Hauptobjekt wirkt. Die Entfernung $b\,a$ deslben wird nicht erkannt, solange dasselbe einen ganz gleichmässigen ruck ausübt und seine Druckrichtung nicht ändert. Wenn sich aber ɜr Finger b hinundher bewegt, sodass der Stab $a\,b$ bald die Lage $a\,b'$, ald die Lage $a\,b''$ annimmt und sich stets mit der Kraft p gegen den sten Punkt a stemmt, erkennen wir, dass die Wirkung des Objektes a ald in der Richtung $b'\,a$, bald in der Richtung $b''\,a$, dass also dieses bjekt in dem Durchschnittspunkte a dieser Richtungen liegen muss. Zur rkenntniss der Entfernung $a\,b$ ist also Bewegung oder überhaupt eränderung des Verbindungssystems erforderlich.

Statt des starren Stabes $a\,b$ kann man sich auch einen Faden vorellen, welcher an dem Objekte a befestigt ist und durch unsere Hand espannt wird. Indem wir die Hand pendulirend bewegen, erkennen wir ie Lage des Objektes oder empfinden wir dasselbe in seinem Orte a.

Fig. 517 stellt dasselbe Haupt- und Nebenobjekt, aber den Fall dar, o der Stab $a\,b$ an dem Punkte b von beiden Seiten den Gegendruck nseres Körpers empfängt, also etwa zwischen zwei Fingern gehalten wird. etzt widersteht der Körper (mit Hülfe der Reibung der Haut) mit den eiden Kräften q und r, deren Resultante p' der Kraft p gleich ist.

Besteht das Nebenobjekt nach Fig. 518 aus zwei fest verbundenen

Fig. 516.

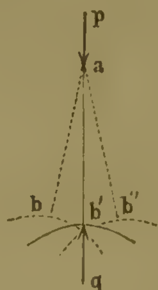


Fig. 517.

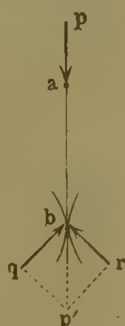
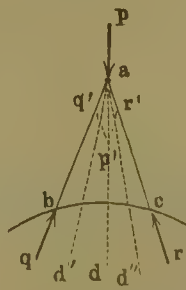


Fig. 518.



Schenkeln ab, ac; so zerlegt sich der Druck p in die beiden Komponenten q', r' und die beiden Nervenenden b, c widerstehen in den Richtungen ba, ca mit den Kräften $q = q'$, $r = r'$. Jetzt werden also bei b und c die Pressungen q und r empfunden und mit der Erkenntniss dieser beiden Kräfte ist von selbst die Erkenntniss ihrer Resultante verbunden. Aus der Empfindung der Pressungen q und r folgt jedoch nur die Stärke und die Richtung ad der Resultante p, noch nicht die Lage ihres Angriffspunktes a in dieser Linie ad oder die Entfernung des Objektes a. Zur Erkenntniss dieser Entfernung ist Bewegung oder Veränderung des Hauptobjektes a oder des Nebenobjektes bac erforderlich. Denken wir uns z. B. das Hauptobjekt a in Vibrationen oder anderen kleinen Bewegungen begriffen, sodass seine Kraftrichtung zwischen den Linien ad' und ad'' schwankt; so werden wir in dem ersten Momente erkennen, dass der Angriffspunkt in der Linie ad' liegt, und im zweiten Momente, dass er in der Linie ad'' liegt. Beide Linien haben nur den Punkt a gemein; wir erkennen also, dass jener Angriffspunkt im Punkte a liegt und damit ist das Urtheil über die Stärke, Richtung und Entfernung des drückenden Objektes vervollständigt.

Fig. 519.

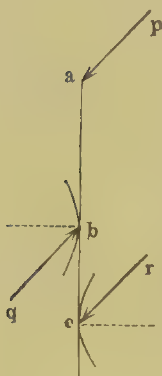
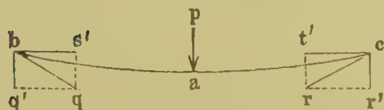


Fig. 519 stellt einen zwischen zwei Fingern gehaltenen Stab ac dar, auf welchen bei a das Hauptobjekt in beliebiger Richtung pa wirkt. Sind b und c die Berührungspunkte der Finger; so widerstehen dieselben mit den beiden zu p parallelen Kräften q, r von solcher Grösse, dass sie mit p im Gleichgewichte sind. Aus diesen Widerständen q und r wird das Moment der Kraft p, auch ihre Richtung erkannt und die zu ac parallelen Komponenten von q und r lehren zugleich, dass der Angriffspunkt der Kraft p in der Linie ca liegt. Zur vollständigen Erkenntniss ist jedoch Bewegung nöthig; denn das Moment von p kann auch durch eine kleinere Kraft erzeugt werden, welche an einem grösseren Hebelarme wirkt. Bewegt sich jetzt der Stab ac, sodass die Berührungspunkte b, c und die Kräfte q, r variiren; so ergiebt sich ähnlich wie vorhin die Kraft p nach ihrer Grösse, Richtung und Entfernung unzweideutig.

In Fig. 520 ist das Nebenobjekt bc ein biegsamer Faden. Mit Hülfe dieses Fadens widersteht unser Körper dem Drucke p des Objektes a durch die beiden Kräfte q, r, welche mit p im Gleichgewichte sind und zwei gleiche, in der Verbindungslinie der Affektionspunkte bc liegende Komponenten s', t' hat. Aus q und r wird zunächst die Stärke und Richtungslinie von p erkannt; ändert aber a seinen Druck gegen den Faden bc etwa in einer auf bc normal stehenden Ebene; so erhält man variirende Richtungslinien, welche sich sämmtlich im Punkte a schneiden. Lässt man also den zwischen den Fingern b, c gespannten Faden an dem Objekte a auf- und niedergleiten; so erkennt man die Grösse, die Richtung und die Entfernung des wirkenden Objektes a.

Fig. 520.



9. Wirkungen unvollkommener Akkommodation. — Ge- lstäuschungen. Die Unvollkommenheit der Erkenntniss, welche bei ollkommener Akkommodation der sensibelen Organe stattfindet, betrifft ıt bloss die *Schärfe* oder *Intensität* des Gefühles, sondern auch *Quantität* der räumlichen Eigenschaften des vorgestellten Objektes die *Qualität* der Empfindung. Die letzten beiden Abweichungen der Wahrheit stellen die eigentlichen *Gefühlstäuschungen* dar.

Vermöge der Täuschungen über die räumlichen Verhältnisse glauben das Objekt in falscher Entfernung, Richtung, Grösse oder Form wahr- ehmen. So erzeugt bekanntermaassen die lose Berührung einer Kugel zwei dergestalt gekreuzten Fingern, dass die Berührung an entgegen- etzten Seiten der Finger stattfindet, leicht die Vorstellung eines *dop- ten* Objektes. Diese Erscheinung ist lediglich die Folge der mit der ewöhnlichen Verdrehung der Glieder verbundenen ungünstigen Ak- ımodation. Es ist irrig, diese Täuschung durch die Annahme zu er- ·en, dass gewisse Nervenenden, z. B. die an benachbarten Seiten der ger ausmündenden, zu einer harmonischen Zusammenwirkung bestimmt n oder dass ein Objekt, um richtig erkannt zu werden, mit seinen elnen Theilen solche Nervenspitzen affiziren müsse, welche in einer mit Form des Objektes korrespondirenden Weise gelagert seien. Eine he Vorausbestimmung der einzelnen sensibelen Nervenfasern für be- ımte Objekte findet ebenso wenig statt, wie eine Vorausbestimmung einzelnen Fasern des Sehnerven für bestimmte Lichteindrücke.

In ähnlicher Weise führt unvollkommene Akkommodation zu Täu- ıngen über die *Art* des Gefühles oder über die *physikalische* Be- ıffenheit des Objektes. Es kann uns ein harter Körper weich, ein ıer Körper glatt u. s. w. erscheinen.

Ausserdem entspringen aus der Verbindung der Akkommodationsthä- eit mit der sensibelen Thätigkeit manche *eigenthümlichen* Wir- gen. Die Akkommodation, welche eine Funktion des motorischen tralapparates ist, ist, wie beim Sehen ein Akt der *Selbstthätigkeit* ·res Organismus bei der Aufnahme eines fremden Eindruckes. Wenn ər ein äusserer Impuls unseren Körper in nicht akkommodirtem Zustande t, wenn also jene Selbstthätigkeit nicht stattfindet, fehlt bei der gei- en Erkenntniss und Empfindung die *Ruhe* und *Festigkeit*, die *bsteigene Gewalt*, welche den von aussen erweckten sensibelen venprozess beim Eintritte in das Gehirn dergestalt beherrscht, dass ich in den *normalen Bahnen und Grenzen* halten muss. Das irn wird vielmehr eher *erschüttert*, als in vollkommen *stetiger* se affizirt, ähnlich wie ein physischer Körper, welcher plötzlich einem teme von Kräften ausgesetzt wird, erst in Schwingungen geräth, ehe der dauernde gleichförmige Gleichgewichtszustand einstellt. Eine he Einwirkung nennen wir Überraschung. Dieselbe kömmt beim zlichen oder unvorbereiteten *Anblicke*, wie beim unvorbereiteten *ren und Empfinden* eines Objektes vor und beruht, wie schon er- nt, lediglich auf dem *Mangel an Akkommodation* im ersten Mo- te des äusseren Angriffes.

Das Gefühl des *Kitzels* ist nichts Anderes, als das Tastgefühl, wel- ı ein fremder Körper erweckt, auf welchen unsere sensibelen Organe

an gewissen Körperstellen sich nicht zu akkommodiren vermögen. Demnach sind besonders solche Körpertheile, wie die Nase, die Fusssohlen u. s. w. zu kitzeln, welche zum Betasten der zum Kitzeln angewandten, meistens in vielen und feinen vorspringenden Ecken und Spitzen verlaufenden Gegenstände, oder vielmehr zur leichten Akkommodation ihrer sensibelen Organe auf dergleichen Gegenstände nicht organisirt sind oder deren Akkommodationsfähigkeit doch nicht genügend ausgebildet ist.

Dass man sich nicht selbst kitzeln kann, besonders nicht durch den unmittelbaren Gebrauch der Hände, hat denselben Grund wie die Thatsache, dass man sich nicht selbst überraschen kann. Dieser Grund beruht auf einem ganz materiellen Vorgange. Indem ich meine Hand anlege, um meinen eigenen Körper in irgend einer Weise zu affiziren, entstehen in diesem Körper zwei Systeme von Kräften. Das erste System bildet den vom Willen geleiteten, durch den motorischen Apparat ausgeführten Angriff; das zweite erzeugt sich durch den Widerstand des angegriffenen Körpers. Beide Systeme sind miteinander im Gleichgewichte oder streben doch nach Gleichgewicht: wie verschieden also auch ihre Elementarzusammensetzung sei, beide haben eine an Grösse gleiche und der Richtung nach direkt entgegengesetzte Resultante. Das zweite System von Kräften stellt aber ferner den zur sicheren Empfindung erforderlichen Akkommodationszustand dar. Da nun dieses zweite System durch das erste unmittelbar hervorgerufen wird und jenes erste System unter der Herrschaft des Willens von demselben Zentralapparate wie das zweite System, nämlich durch den motorischen Apparat ausgeführt wird, welcher zugleich der Akkommodationsapparat ist; so leuchtet ein, dass das von dem ersten Systeme bedingte zweite System oder die Akkommodation auf den gegebenen Angriff möglichst vollkommen ist, dass also nach Vorstehendem keine Überraschung und demnach kein Kitzel stattfinden kann.

10. Vorstellungen über die räumlichen Verhältnisse, welche die verschiedenen Gefühle unter gewöhnlichen Verhältnissen erzeugen. Von den in No. 3 erwähnten Gefühlsarten zeichnet sich das Tastgefühl durch die grösste Bestimmtheit hinsichtlich der Erkenntniss räumlicher Verhältnisse aus. Diess hat jedoch keineswegs seinen Grund in der Organisation der Nerven, sondern lediglich darin, dass in der Regel die mechanischen Affektionen durch Zug und Druck eine grössere Bestimmtheit haben, als die durch Wärme und Chemismus.

Jede mechanische Kraft, welche als Zug oder Druck von irgend einem Punkte des uns berührenden Objektes ausgeht, affizirt die betreffende sensibele Nervenfaser mit einer bestimmten und besonderen Intensität und Richtung. Auch findet fast immer in Folge der Erzitterungen, Schwingungen und sonstigen Bewegungen des Objektes oder des tastenden Organs ein bestimmter und besonderer Wechsel in dieser Intensität und Richtung statt. Bei mechanischem Angriffe sollizitirt also das Objekt unseren Körpern mit präzise sich markirenden, durch die Lage und Verbindung der materiellen Punkte des Objektes, d. h. durch die Form und Lage, sowie durch die physikalische Be-

ıaffenheit des Objektes genau bestimmten Elementarkräften. rnach ist klar, dass das Tastgefühl eine entsprechend vollkommene rstellung von räumlichen Verhältnissen eines Objektes geben ss.

Vermöge des Tastgefühles erkennen wir sehr genau die Form eines ıittelbar befühlten Objektes. Die unmittelbare Berührung ist übrigens chaus keine Nothwendigkeit zu dieser Erkenntniss: nach der Erläute-g in No. 6 können wir das Objekt auch mittelst eines anderen Gegen-ıdes, z. B. mittelst eines Stabes betasten; der Stab und der davon ührte Gegenstand sind ja nichts Anderes als ein System von Objek-ı oder ein Objekt von besonderer Gliederung. Ebenso kann ı einen Gegenstand mittelst eines zwischen den Fingern ausgespannten dens betasten; der Faden und der daran grenzende Gegenstand sind h nur ein Objekt oder ein System materieller Punkte von besonderer bindung. Das mit Hülfe eines Nebenobjektes (Stab, Faden u. s. w.) ührte Hauptobjekt pflanzt durch das Nebenobjekt Spannungen, Vibra-ıen, Bewegungen fort, welche durch die Natur des Nebenobjektes so influsst werden, dass sie bei ihrem Angriffe auf die sensibelen Nerven ganze äussere mechanische System, also sowohl das Haupt-, wie das benobjekt erkennen lassen. Wir fühlen also bei dem Gebrauche eines bes oder Fadens theils die Verbindungsweise dieses Zwischengliedes unserem Körper als einen Zug oder Druck unmittelbar an den Stellen eres Körpers, wo die Verbindung stattfindet, theils die Länge, die stizität und sonstige Beschaffenheit des Zwischengliedes, theils das be-rte Hauptobjekt und zwar letzteres in der Form und der Entfer-ıg ausser uns, in welcher es sich wirklich befindet.

Vergleichen wir hiermit die gewöhnlichen Einwirkungen der Wärme unseren Körper. Meistens werden wir nur durch die leitende Wärme berührten Objektes, also nur von derjenigen Wärme affizirt, welche nittelbar von den berührten Punkten in unsere Haut oder umge-rt von der Haut in das Objekt übergeht und welche sich in jedem be-rten Moleküle nach allen Seiten hin, also ohne bestimmte Rich-g ausbreitet. Es ist ganz selbstverständlich, dass unsere Vorstellung den räumlichen Verhältnissen eines uns in dieser Weise kalorisch irenden Objektes nur zu Örtern führen kann, welche in den unmit-bar berührten Stellen des Objektes liegen. Da aber diese Stellen den berührenden Stellen unseres Körpers zusammenfallen; so pfinden wir die Wärme fast immer nur an den erwärm-ı Körperstellen, ohne dass sich die Vorstellung eines entfernten ektes daran knüpfte.

Sobald jedoch die äussere Wärmeaffektion mit bestimmteren htungen auftritt, ergiebt sich auch die in gleichem Maasse be-mmtere Vorstellung von den räumlichen Verhältnissen des Ob-es. Eine bestimmte Richtung hat die strahlende Wärme, und in That erkennen wir durch die von einem erhitzten Ofen ausgehenden mestrahlen sehr wohl die Richtung, in welcher die Wärmequelle t. Die Erkenntniss der Entfernung und Grösse des Ofens ist zwar t sicher, weil die Art und Weise, wie jedes sensibele Nervenende von Strahlen des ganzen Ofens getroffen wird, keine so erheblichen Un-

terschiede darbietet, dass die Empfindung hierfür scharf genug ausfiele; allein gleichwohl markiren sich auch diese Eigenschaften in angenäherten Umrissen.

Was von der Affektion durch die leitende Wärme gesagt ist, gilt in noch höherem Grade von der Affektion durch Chemikalien oder durch den Stoffwechsel. Das Konstitutionsgefühl, insbesondere der Schmerz, giebt uns daher in der Regel nur Empfindungen in den unmittelbar betroffenen Organen.

Empfindungen in amputirten Gliedern oder überhaupt unter Umständen, wo das peripherische Organ keinen äusseren Reiz empfängt, sind Reproduktionen des Gehirnprozesses, welcher den ehemaligen wirklichen Empfindungen in jenen Gliedern entsprechen. Dieselben sind den subjektiven unfreiwilligen Gesichtserscheinungen gleich zu achten. Das Gefühl ist in der Hinsicht weniger vollkommen organisirt als das Gesicht, dass wir nicht vermögen, freiwillig deutliche Gefühlseindrücke zu erzeugen, wie wir Gesichtsvorstellungen produziren können. Allein diese Unvollkommenheit ist doch nur eine graduelle, keine absolute; schwache Empfindungen von Druck und Wärme vermag sich ein Jeder nach Belieben in jedem Körpertheile vorzustellen.

§. 79.

Der Geschmack.

Die Geschmacksnerven haben den vornehmlichen Zweck, die zwischen den Körperstoffen bestehenden chemischen Affinitäten zur Erkenntniss zu bringen. Zu dem Ende erzeugt die chemische Wechselwirkung zwischen dem auf die Zunge gebrachten Stoffe und der Substanz der Zunge in den dort sich verzweigenden Geschmacksnerven eine besondere Thätigkeit, bei deren Eintritt in das Sensorium wir den Eindruck eines gewissen Geschmackes erhalten. Diese Nerventhätigkeit stellt also einen Vibrationszustand dar, bei welchem der Wechsel der chemischen Qualitäten oder der Wechsel von chemischen Verbindungen und Trennungen das Wesentliche ist.

Nach Vorstehendem bildet der Chemismus des Nervenprozesses die Grundlage für die verschiedenen Hauptarten des Geschmackes, z. B. für den Eindruck des Süssen, Saueren, Salzigen, Bitteren u. s. w., sowie auch für die speziellen Arten des Geschmackes, welche die verschiedenen Körper wie Zucker, Kochsalz, Fleisch, Bier u. s. w. charakterisiren. Der Unterschied gegen den Qualitätsprozess, welcher im Sehnerven die Empfindungen der verschiedenen Farben erzeugt, liegt darin, dass im optischen Prozesse die Bewegung des Äthers das Ursprüngliche ist, welche den Wechsel der kosmetischen und der chemischen Eigenschaften nur sekundär zur Folge hat, also sich durch besondere Eigenthümlichkeiten vor dem Geschmacksprozesse auszeichnen muss, wo die chemische Affinität das unmittelbare Agens ist.

Die Intensität des Geschmackes, obgleich davon die Amplitude des fraglichen Vibrationszustandes abhängt, wird doch nicht durch diese

ılitude gemessen, weil die Vibration an sich etwas Unwesentliches für Geschmackseindruck ist. Die materielle Grundlage oder das Maass die Intensität des Geschmackes ist vielmehr die Menge und die Art durch jenen Vibrationsprozess in der Masseneinheit der Nervensubstanz alternirende chemische Umbildung versetzten Stoffes, eine Menge, he im Allgemeinen der Menge des am peripherischen Nervenende etzten Objektes proportional ist.

Mit der Wirkung der Stoffe auf die Geschmacksnerven ist die Wirkung die Vitalitäts- oder Ernährungsnerven nicht zu verwechseln. ch die letztere Wirkung wird keine Erkenntniss oder Vorstellung von wirkenden Agentien, sondern nur eine allgemeine Stimmung, ein ektiver Zustand, welcher sich eines bestimmten äusseren Objektes t bewusst ist, erzeugt. Im Allgemeinen sind diese Eindrücke schwach; steigern sich aber in abnormen Zuständen, insbesondere geben sie dem etite, dem Gefühle der Sättigung, der Übelkeit bei überladenem oder orbenem Magen Ausdruck.

Wenngleich die Geschmacksnerven vorzugsweise die Art und die rke des chemisch wirkenden Objektes erkennen lassen; so fehlt ihnen ı keineswegs die Fähigkeit, auch die räumlichen Verhältnisse elben zum Bewusstsein zu bringen. Um sich über diese Wirkung Reschaft zu geben, muss man von der Wirkung der in der Zunge ebenverbreiteten Gefühlsnerven abstrahiren. Wenn wir die Form in den Mund gebrachten Speise durch die Berührung mit der Zunge der Mundhöhle erkennen; so ist Diess vorzugsweise das Werk der ihlsnerven. Die Geschmacksnerven reagiren nicht, solange die se starr ist: chemische Wirkung setzt den flüssigen Zustand vor-Demgemäss schmecken wir nur einen flüssigen Körper oder die h den Speichel aufgelös'ten, also flüssig gewordenen Theilchen eines en Körpers. Hat nun der im Munde befindliche Körper an den einen Berührungsstellen mit der Zunge eine nach Intensität oder Qualität chiedene chemische Beschaffenheit; so erkennen wir Diess durch die chiedene Affektion der Nervenfasern und auf diese Weise gewinnen auch durch die Geschmacksnerven eine, freilich sehr ungenaue Vorung von den räumlichen Verhältnissen des Objektes.

In Beziehung auf die Art des Geschmackes müssen wir nochmals lerholen, dass dieselbe durch die chemische Beschaffenheit des neckenden Stoffes bedingt ist. Hierdurch erhalten wir also einen Einck von der Qualität chemischer Körper wie Zucker, Essig, Wasser . w. Dass es aber wirklich die chemische Qualität oder die Affiät ist, welche durch den Geschmack zur Erkenntniss kömmt, bedarf s spezielleren Nachweises: denn es ist, wie wir beim Geruche sehen den, noch eine andere Wirkung der Stoffe durch ihre Qualität möglich, che nicht auf Chemismus beruht. Jener Nachweis würde erbracht , wenn Stoffe, welche in chemischer Hinsicht etwas Gemeinsames en, diese Gemeinsamkeit auch durch den Geschmack bestätigten. Diess n der That der Fall; die Hauptarten des Geschmackes entsprechen Hauptgruppen der chemischen Körper, wie sie sich theils vermöge Verbindungsstufe, auf welcher sie stehen, theils vermöge der chechen Grundeigenschaften der Elemente bilden.

Zunächst bemerken wir in dieser Beziehung, dass die chemischen Elemente gar keinen Geschmack haben (die zerstörende Wirkung, welche manche Stoffe wie z. B. Natrium und Kalium wegen ihrer heftigen Verwandtschaft zum Sauerstoffe ausüben, ist kein Geschmack, sondern eine Wirkung auf die Gefühlsnerven, Schmerz). Die entschiedensten Geschmackswirkungen bringen die Verbindungen des Sauerstoffes mit den übrigen Elementen hervor. So charakterisiren sich die bekannten Verbindungen der Metalle mit vorherrschendem Sauerstoffe durch den sauren Geschmack als Säuren, diejenigen mit weniger vorherrschendem Sauerstoffe durch ihren laugenartigen oder alkalischen Geschmack als Basen oder Alkalien, die nichtbasischen Oxyde durch ihren erdigen oder neutralen Geschmack als neutrale Körper, die Verbindungen der Säuren mit den Basen durch ihren salzigen Geschmack als Salze. Der Geschmack ist es sogar, welcher diesen chemischen Verbindungen den Namen gegeben hat. In ähnlicher Weise charakterisiren sich die Verbindungen anderer Elemente durch eine spezifische Geschmackswirkung. Der süsse und bittere Geschmack gehört den zusammengesetzteren Verbindungen an. Schliesslich reagirt der Geschmack auf die Eigenthümlichkeit der Zusammensetzung des Vegetabilischen und des Animalischen. Die Sprache ist allerdings nicht für die vielfachen Nüancirungen des Geschmackes ausgebildet; der Geschmack selbst aber würde, wenn man ihn sorgfältig studirte, die chemischen Eigenschaften der Körper getreu wiedergeben.

Ganz verschieden von dem Begriffe der Art ist aber der Charakter des Geschmackes, welcher sich z. B. als herbe, beissend, brennend, schmelzend, als Wohlgeschmack und unangenehmer Geschmack zu erkennen giebt. Dieser Charakter ist nicht durch die chemische Affinität des Stoffes, sondern durch die Besonderheit bestimmt, mit welcher sich der chemische Prozess vollzieht, also wie Glanz und Klang durch die Form der Affektionskurve.

§. 80.

Der Geruch.

Während die Geschmacksnerven auf den eigentlichen Chemismus des Nervenprozesses, d. h. auf die zwischen den eigentlichen Körperstoffen bestehende Affinität reagiren, werden die Geruchsnerven nach meiner Ansicht durch den Kosmetismus, d. h. durch die zwischen dem Ponderabelen und dem Äther bestehenden Neigungen (§. 73 No. 1 u. 2), welche sich in dem Nervenprozesse geltend machen, affizirt.

Der Geschmack erfordert, damit die chemischen Kräfte wirksam werden können, den flüssigen Zustand der Objekte, der Geruch dagegen den gasförmigen Zustand, also wenn das Geruchsobjekt tropfbar flüssig oder starr ist, die Verdunstung oder Verflüchtigung desselben (wodurch ein unvollkommener Geruch bei tropfbarem Zustande nicht ganz ausgeschlossen ist). Wie ich schon in der Schrift „Körper und Geist“ §. 151 ausgesprochen habe, ist die Verdunstung der Stoffe, der

sigen, wie der starren, nicht eine Wirkung chemischer Kräfte zwi-
n den Stoffen der verdunstenden Körper und den Stoffen der Umge-
g, sondern eine Wirkung der kosmetischen Kräfte dieser Stoffe.
freie Äther, welcher einen Körper umgiebt, verändert durch seine
metische Neigung zu dem Ponderabelen dieses Körpers unausge-
t die Beziehung, welche zwischen dem Ponderabelen und dem Äther
dem Körperstoffe besteht, lockert gewissermaassen diese Verbindung
gestaltet sie in gewisser Weise um, ohne gerade das Quantitätsver-
tniss zwischen dem zu Molekülen verbundenen Äther und Ponderabe-
, d. h. ohne die chemische Qualität des Stoffes wesentlich zu
ern. Hierbei entstehen Lostrennungen in gasförmigem Zu-
nde, Verdunstungsprodukte, welche sich von dem verdunstenden
ffe nicht so sehr durch ihre chemischen, als durch ihre kosmeti-
en Eigenschaften unterscheiden.

Während der Geschmacksprozess dadurch eingeleitet wird, dass
die Nervensubstanz am peripherischen Ende chemisch umbildet,
ei Zerlegung jener Substanz durch das auf die Zunge gebrachte
mische Agens den ersten Impuls abgiebt und mit Verbindung ab-
hselt, wird der Geruchsprozess dadurch eingeleitet, dass die Ner-
substanz unter dem Einflusse des in die Nase geführten Gases sich
rnirend kosmetisch verändert. Wie beim chemischen Prozesse Aus-
eidung oder chemische Auflösung einer gewissen Menge der Nerven-
stanz ein unvermeidlicher, aus der Unvollkommenheit der chemischen
ffbildung hervorgehender Begleiter ist, so wird auch beim kosmetischen
zesse Verdunstung jener Nervensubstanz unter dem kosme-
chen Angriffe des äusseren Gases unvermeidlich sein.

Wie durch die Geschmacksobjekte, so wird auch durch die Geruchs-
ekte eine direkte Wirkung auf die Vitalitäts- oder Ernährungs-
ven ausgeübt, welche nicht mit der sensuellen Geruchsthätigkeit ver-
hselt werden darf, da sie nicht die Erkenntniss von einem bestimmten
jekte, sondern nur eine allgemeine Stimmung erzeugt. Zu diesen
drücken rechne ich z. B. die erregende Wirkung der narkotischen
ffe, wie Taback, Opium u. s. w., und der Spirituosen auf das Gehirn
mit die auf Chemismus oder Assimilation beruhende betäubende
rkung der genossenen Spirituosen nicht ausgeschlossen ist). Auch der
el entspringt meines Erachtens wesentlich aus der kosmetischen
ektion der Nerven: das aus dem Genusse von Speisen, also aus der
emischen Wirkung der Stoffe hervorgehende ähnliche Gefühl ist
uptsächlich Übelkeit. Den aus dem Anblicke gewisser Gegenstände
h erzeugenden Ekel halte ich für eine Reproduktionsthätigkeit,
lche sich auf eine Verstandesthätigkeit in Folge gemachter Erfahrungen
tzt.

Die auf die Geschmacksnerven wirkenden Stoffe sind vornehmlich
jenigen, welche zur Ernährung des Körpers, d. h. im Speziellen zum
offwechsel oder zu den chemischen Veränderungen der Kör-
masse dienen. Diese Stoffe sind besonders wichtig für diejenigen
gane unseres Körpers, deren hauptsächliche Funktionen aus ihrer che-
schen Beschaffenheit entspringen, wozu man Fleisch, Muskeln,
ute, Knochen und ähnliche Gebilde und Gewebe rechnen muss. Der

Hauptvertreter aller dieser Organe, nämlich die Substanz, aus welcher sich alle diese Organe unmittelbar stofflich bilden, ist das Blut. Die Geschmacksobjekte oder die Speisen sind also von vornehmlicher Wichtigkeit für das Blut.

Die auf die Geruchsnerven wirkenden Stoffe sind dagegen besonders diejenigen, welche zur Belebung der Nerventhätigkeit im Allgemeinen, im Speziellen aber zur Belebung des Vitalitätsapparates dienen. Blut als das zu verarbeitende Material und Nervensystem als die bewegende und formgebende Kraft sind die beiden grossen Faktoren bei der Vitalität, Lebensthätigkeit oder Organisation des Körpers. Was Speise und Geschmack für das Blut, das ist Essenz und Geruch für die Nerventhätigkeit. Hieraus erklärt sich die direkte und vorherrschende Wirkung aller Geschmacksobjekte auf den Magen und aller Geruchsobjekte auf das Gehirn.

Die Intensität des Geruches bestimmt sich durch den Grad, in welchem sich der kosmetische Nervenprozess entwickelt, also durch die Menge des zur Massenheit der Nervensubstanz in die alternirende kosmetische Thätigkeit verwickelten Stoffes.

Wie der Zunge, so ist auch der Nase die Fähigkeit nicht ganz fremd, von den räumlichen Verhältnissen des Geruchsobjektes, insbesondere von dem Orte des Ursprungs des Geruches Vorstellungen zu erwecken. Dieselben entspringen hier wie dort aus der gleichzeitigen Thätigkeit der verschiedenen Fasern des Geruchsnerven: im Übrigen ist diese Wirkung schwach, da die Erzeugung von Vorstellungen der Bestimmung dieser Organe ziemlich fern liegt.

Was schliesslich die Art und den Charakter des Geruches betrifft, so müssen wir hervorheben, dass die Art des Geruches, welche sich z. B. als schwefliger Geruch, als Chlorgeruch, als Rosenduft, als Lavendelduft, u. s. w. ausspricht, aus denjenigen kosmetischen Eigenschaften entspringt, welche unmittelbar oder gesetzlich mit dem chemischen Stoffgehalte verbunden sind. In irgend einem Körperatome, z. B. im Schwefelatome, hat der Äther zum Ponderabelen nicht bloss ein bestimmtes Quantitätsverhältniss, welches dieses Atom zu dem chemischen Körper macht, welchen wir Schwefel nennen, sondern auch eine bestimmte Anordnung. Diese Anordnung und das damit verbundene sonstige Verhalten zwischen dem Äther und dem Ponderabelen, welches auf den Geruchsnerven wirkt, geht nun zwar im Allgemeinen mit jenem Quantitätsverhältnisse Hand in Hand oder wird durch dasselbe in gewissem Maasse bedingt, der Geruch eines Stoffes steht also mit seiner chemischen Beschaffenheit oder mit seinem Stoffgehalte in einem gewissen Zusammenhange, sodass die Art des Geruches auf die chemische Beschaffenheit der Stoffe zurückgeführt werden kann: allein jene Anordnung und jenes Verhalten zwischen dem Äther und dem Ponderabelen ist doch im Wesentlichen von dem erwähnten Quantitätsverhältnisse oder von der chemischen Beschaffenheit des Stoffes unabhängig, ist eine selbstständige Eigenschaft, welche durch manche Agentien, namentlich durch Temperatur, bedeutend geändert werden kann, sodass durch ein solches Agens ein Stoff aus dem starren in den flüssigen und gasförmigen, aus dem geruchlosen in den riechenden Zustand übergeht, ohne seinen Stoffgehalt

ändern. Die Eigenthümlichkeit des Geruches, welche auf der Besonheit der letzteren Anordnung oder dem kosmetischen Verhalten uht, nennen wir den Charakter des Geruches.

Da nun überhaupt oder prinzipiell der Geruch auf dem kosmetien Verhalten beruht; so geht aus Vorstehendem hervor, dass beim ruche nicht wie beim Geschmacke die Art, sondern der Charakter Hauptsächliche oder Wesentliche der Erscheinung ist. Der Charakter Geruches wird durch Ausdrücke wie Wohlgeruch, Parfüm, Gestank, vebilischer Duft, animalischer Dunst, aromatischer, narkotischer, erchender, stärkender, lieblicher, betäubender, ekelerregender, brenzlicher, ichter Geruch bezeichnet und man erkennt sofort, dass in der That er Geruchsorgan weit bestimmter auf diese erregenden (kosmetien) Kräfte, als auf die speziellen chemischen Kräfte der Stoffe reagirt. n in der That haben diejenigen Körper, welche durch ihren spezifischen chmack ihre chemische Beschaffenheit zu erkennen geben, keines- s einen spezifischen Geruch: die Säure, die Base, das Salz, der süsse der bittere Stoff riechen im Allgemeinen nicht. Umgekehrt haben die zifisch riechenden Körper keinen spezifischen, ja häufig gar keinen chmack und charakterisiren sich auch nicht durch eine besondere mische Verbindungsweise. So haben z. B. die chemischen Elemente nen Geschmack, wohl aber einen Geruch, jedoch keinen solchen, wel- sie als einfache Stoffe charakterisirte, sondern einen solchen, welcher gewisse Gleichartigkeit des Verhaltens des Äthers zum Ponderabelen erkennen giebt: hierdurch charakterisiren sich manche Metalle, wie ofer und Zink, der Schwefel, der Phosphor, das Chlor durch den Ge- n. Die stärksten und entschiedensten Gerüche kommen den mmengesetzteren Verbindungen zu, welche im Allgemeinen den wächsten und unentschiedensten Geschmack haben, insbeson- den vegetabilischen und animalischen Substanzen.

Wir bemerken noch, dass die hervorragendste Eigenschaft für die ühlseindrücke die Intensität, für die Geschmackseindrücke Art, für die Geruchseindrücke der Charakter ist, welcher Letztere Analogon von Glanz und Klang bildet, während die Art das Analogon Farbe und Ton darstellt. Während wir uns vorzugsweise der Zunge ienen, um den Stoffgehalt eines Körpers zu ermitteln, gebrauchen vornehmlich die Nase, um zu erforschen, in welchem Zustande r in welcher Thätigkeit derselbe sich befindet, z. B. ob er brennt, t, gährt, gesund ist und dergl.

§. 81.

Der motorische Apparat.

1. Betheiligung des motorischen Apparates bei den Sinnesdrücken. — Akkommodation der Sinnesorgane. Bei jeder Sinhätigkeit ist der motorische Apparat betheiligt, d. h. es findet Thätigkeit motorischer Nerven statt, welche die Akkommodan des Sinnesorgans ausmacht. Über die eigentliche Bestimmung des

motorischen Apparates im Allgemeinen und des Akkommodationsapparates im Besonderen herrschen sehr unsichere und irrthümliche Ansichten. Ein allgemeines Prinzip, welches dieser Apparat für die einzelnen Sinne und die übrigen Funktionen des Menschen bethätigt, ist nicht ausgesprochen; bei den verschiedenen Funktionen wird dem motorischen Apparate sogar ein verschiedener Zweck zugeschrieben, sodass daraus der Schluss sich ergäbe, dass der motorische Apparat überall keinem bestimmten Grundzwecke diente; im Ganzen ist jedoch die Beziehung des motorischen Apparates zu den übrigen Organen nur wenig in Erwägung gezogen, und wo Diess geschehen, wie bei den Funktionen des Gesichtes und des Gefühles hat, man sich über den Naturzweck getäuscht.

In Beziehung auf das Gesicht nimmt man jetzt ziemlich allgemein an, dass auf der Thätigkeit des Akkommodationsapparates das Urtheil über die Entfernung des leuchtenden Punktes oder über die Tiefendimension des Raumes beruhe. Ich habe diese Ansicht in vorstehender Schrift bekämpft und erlaube mir die Gründe, welche diese Leistung des Akkommodationsapparates als unmöglich erscheinen lassen, hier kurz zusammenzustellen.

1. Man erkennt die verschiedenen Entfernungen des Raumes oder man sieht die Gegenstände körperlich, obgleich das Auge nur einen einzigen Punkt fixirt, also nur auf eine einzige bestimmte Entfernung akkommodirt ist, auf alle übrigen aber nicht (§. 16).

2. Wenn man beim Anblicke eines bestimmten Punktes das Auge auf einen weit davor oder weit dahinter liegenden Punkt, also auf eine tausendmal kleinere oder tausendmal grössere Entfernung akkommodirt; so wird das Urtheil üer die Entfernung jenes Punktes zwar etwas, aber in einem so geringen Verhältnisse beeinträchtigt, dass unmöglich die Akkommodation die Grundlage dieses Urtheils sein kann (§. 24).

3. Die Meinung, dass man eine Entfernung schätze, indem man das Auge längs derselben hinundher streifen lasse und auf diese Weise das Muskelgefühl, gestützt auf die Thätigkeit des motorischen Apparates, zu Rathe ziehe, ist irrig: man erkennt die verschiedenen Dimensionen im Raume bei vollkommen ruhig gehaltenem Auge (§. 16).

4. Da bei der Akkommodation auf die Nähe eine starke und bei der Akkommodation auf die Ferne eine schwache Anstrengung des Akkommodationsapparates erforderlich ist; so ist es naturwidrig, in dieser Anstrengung das Maass für die Entfernung zu finden, indem die Vermehrung der zu messenden Grösse mit einer Verminderung des Maasses verbunden ist (§. 16).

5. Wenn Kurz- oder Fernsichtigkeit eintritt, ändert sich doch nicht die Vorstellung von der Entfernung und Grösse der bekannten Objekte wesentlich, wiewohl doch die Akkommodationsthätigkeit alsdann erheblich beeinträchtigt wird (§. 50).

6. In der sensuellen Thätigkeit der Sehnerven liegen alle Momente, welche zur Erkenntniss der Entfernung erforderlich sind, diese Thätigkeit, welche prinzipiell das Sehen bewirkt, ist also in allen Stücken zur Erkenntniss der optischen Eigenschaften der Gegenstände ausreichend (§. 16).

7. Die Augen der niedrigen Thierklassen haben entweder gar keine

oder nur eine sehr unvollkommene Akkommodation: gleichwohl erkennen diese Thiere die Entfernung (§. 75).

8. Die Akkommodation des Gehöres ist im Wesentlichen nicht auf die Entfernung, sondern auf die Vibrationsgeschwindigkeit oder die Tonhöhe, welche der Farbe des Lichtes entsprechen würde, gerichtet (§. 77), die des Gefühles auf die Komposition des mechanischen Systems, welche der Form des optischen Objektes entsprechen würde (§. 78), die des Geschmackes und Geruches vornehmlich auf die Richtung, in welcher das Organ affizirt wird (§. 79 und 80); eine solche Verschiedenheit der Thätigkeit eines Apparates gestattet aber nicht die Annahme, dass in dieser Thätigkeit das Ziel oder der Naturzweck des Apparates liege.

9. Die Akkommodation ist für alle Sinne der Genauigkeit oder Deutlichkeit wegen, d. h. zu dem Zwecke durchaus nothwendig, um das Sinnesorgan in den zur richtigen Empfängniss und Erkenntniss des äusseren Reizes erforderlichen Zustand zu versetzen (§. 8, 16, 21, 77, 78): jener Apparat erfüllt also hierdurch einen wesentlichen und allgemeinen Zweck, und es widerstreitet dem Organisationsplane, demselben Organe noch andere und zwar je nach den Umständen verschiedenartige Hauptzwecke zuzuschreiben.

Nach allem Diesen fühlen wir uns zu folgenden Annahmen berechtigt: Der Akkommodationsapparat dient nicht zur Erkenntniss der Entfernung beim Sehen, des Tones beim Hören, der Form beim Tasten, der Richtung beim Schmecken und Riechen.

Die Akkommodation dient überhaupt nicht zur Erkenntniss. Die Erkenntniss und Empfindung der Aussenwelt beruht vielmehr ausschliesslich auf der sensuellen Thätigkeit der Sinnesnerven, nicht auf der Thätigkeit motorischer Nerven.

Die Akkommodation bewirkt nur Deutlichkeit; sie befähigt die Sinnesorgane zur Ausübung ihrer eigentlichen Funktionen dadurch, dass sie dieselben in einen zur Aufnahme des äusseren Angriffes angemessenen Zustand versetzt.

Die Akkommodation ist also eine dem Organismus als solchem entspringende, auf Selbstbestimmung beruhende Selbstthätigkeit, während der am peripherischen Ende des Sinnesnerven entstehende sensuelle Nervenprozess das unmittelbare Produkt der auf äusseren Impulsen beruhenden Erregung ist. Dass die Erweckung des Akkommodationsapparates nicht immer vom freien Willen beherrscht und unter vollständigem Bewusstsein vor sich geht, dass dieselbe vielmehr meistens induktorisch, auf Grund der Organisation des Gehirnes, und bewusstlos erfolgt, ist Nebensache, da gar viele Selbstthätigkeiten dem Willen und dem Bewusstsein entzogen sind.

Da es sich beim Sehen, Hören und überhaupt bei der Sinnesthätigkeit um die Aufnahme eines äusseren Eindruckes, also um die Verschmelzung, Umwandlung oder Assimilation eines Fremden zum Eigenthume, zum Wesen des eigenen Organismus handelt; so ist es einleuchtend, dass hierbei Selbstthätigkeit stattfinden muss. Assimilation ist immer Selbstthätigkeit, gegenüber dem zu assimilirenden Materiale oder der objektiven Thätigkeit. Der Akkommodationsapparat dient dieser

Selbstthätigkeit in der Weise, dass er das Sinnesorgan zur Empfängniss des äusseren Eindruckes und zur Umwandlung des äusseren Prozesses in den Nervenprozess geeignet macht. Der Übergang zum geistigen Eigenthume im Gehirne bildet den ferneren und hauptsächlichen Verlauf des Assimilations- oder Aneigungsprozesses.

2. **Allgemeine motorischen Funktionen.** Die Akkommodation ist nur eine spezielle Funktion des allgemeinen motorischen Apparates. Am hervorragendsten bethätigt sich dieser Apparat durch die freien Bewegungen der Glieder, d. h. durch diejenige Muskelthätigkeit, welche der Herrschaft des Willens unterworfen ist. Im Übrigen ist diese Herrschaft des Willens kein wesentliches Kriterium für den motorischen Apparat, auch nicht das Bewusstsein seiner Thätigkeiten. Viele Thätigkeiten des motorischen Apparates erfolgen unmittelbar durch Induktion, d. h. unmittelbar durch die im Organismus gestifteten materiellen Verbindungen der verschiedenen Gehirnorgane; dieselben gehen alsdann willenlos und prinzipiell auch bewusstlos vor sich. Wenn wir gleichwohl von solchen willenlosen Bewegungen Bewusstsein erlangen; so geschieht Diess auf indirektem Wege, z. B. durch die bei diesen Bewegungen etwa affizirten Gefühlsnerven.

Zu den willenlosen, also induktorisch auf unbewusste Reize erfolgenden Thätigkeiten des motorischen Apparates gehören vorzugsweise die Bewegungen des Herzens, der Lunge, der Eingeweide und anderer Ernährungsorgane, sowie die Akkommodationsbewegungen der Sinnesorgane. Für die ersteren Bewegungen der Ernährungsorgane liefert der Stoffwechsel und für die Akkommodationsbewegungen der Sinnesorgane der sensuelle Nervenprozess den induktorischen Impuls. Übrigens ist bei der Sinnesthätigkeit der Einfluss des Willens nicht ganz ausgeschlossen: derselbe beherrscht z. B. die Thätigkeit der Augenmuskeln, soweit es sich um die gemeinschaftliche Drehung der Augen handelt; ausserdem kann derselbe die eigentliche Akkommodation bald mehr, bald weniger beeinträchtigen (§. 30).

Aber nicht bloss für die freiwillige Bewegung der Glieder und die unfreiwillige Bewegung der Ernährungs- und Sinnesorgane, sondern auch für die Bewegungen im Gehirne, auf welchen die reine Geistesthätigkeit beruht, ist der motorische Apparat wichtig. Auch hier stellt derselbe meines Erachtens, wie ich auch schon in der Schrift „Körper und Geist“ angedeutet habe, die Vorbedingungen, Zustände und Veränderungen her, welche hergestellt werden müssen, damit die Thätigkeit des Denkens oder der Gedankenassoziation, sowie auch eine Gemüthsbewegung zu Stande kommen kann. In diesem unmittelbaren Dienste für die reine Geistesthätigkeit folgt der motorische Apparat wie in allen übrigen Fällen theils den Einflüssen des freien Willens, theils dem Induktionsreize der in Thätigkeit befindlichen Organe.

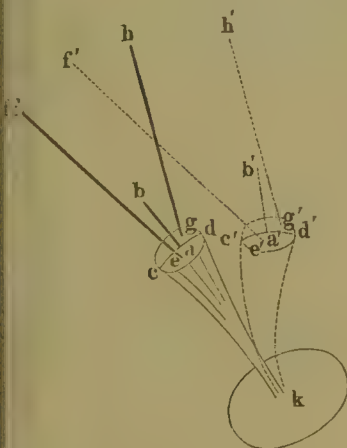
§. 82.

usammenwirkung des sensibelen Apparates mit den übrigen sensuellen Apparaten.

1. **Erkenntniss der Lage der Objekte gegen das Sinnes-rgan, gegen den Kopf und gegen den Horizont.** Das System der efühlsnerven bildet einen selbstständigen Sinnesapparat, wel-er nach denselben Prinzipien wie alle übrigen Sinnesapparate uns von nem Objekte Vorstellung und Empfindung giebt. Der sensibele Ap-rat ist daher so gut ein sensueller wie das Gesicht, das Gehör, der eschmack und der Geruch. Neben dieser Thätigkeit als selbststän-iger Sinnesapparat spielt der sensibele Apparat eine wichtige Rolle als iener der übrigen Sinne in Gemeinschaft mit dem motorischen pparate.

Wir haben schon mehrfach angeführt, dass die Beziehung eines Ob-ktes zu unserem äusseren Sinnesorgane durch die Art und Weise, ie dieses äussere Organ affizirt wird, unmittelbar erkannt wird. Stellt also cd (Fig. 521) schematisch ein Auge, ein Ohr, einen sensibelen Körpertheil, die Zunge oder die Nase, überhaupt ein äusseres Sinnesorgan dar; so erhalten wir die Vorstellung von der Lage eines Objektpunktes f gegen dieses Organ, d. h. gegen irgend eine als festgedachte Axe ab desselben, welche wir die physiologische Axe des Sinnesorgans nennen, und gegen einen als fest gedachten Meridian cd, den physiologischen Meridian, lediglich durch die Beziehungen, in welchen die Affektionsrichtung fe und überhaupt die Affektionsweise des Objektes f zu jenen physiologischen Linien des äusseren Sinnesorgans steht.

Fig. 521.



Handelt es sich also um ein ausgedehntes Objekt fh; so wird die lative Lage der Punkte desselben gegeneinander oder e Form des Objektes ausschliesslich durch die Affektion des äusseren nnesorgans erkannt. Unter der Form des Objektes ist offenbar die lative geometrische Lage der Punkte des Objektes gegen-nander nach den drei Dimensionen irgend eines rechtwinkligen ensystems zu verstehen: es ist also klar, dass die gegenseitige Entfer-ng zweier Punkte in der Richtung der Tiefe und demgemäss die Ent-rnung des Objektes überhaupt als ein Zubehör der Form zu betrach-n ist. Da nun die Form durch die Affektion des äusseren Sinnesorgans un-ittelbar, also jedenfalls durch den reinen oder spezifischen sensuellen ervenprozess des betreffenden Sinnesorgans bestimmt wird; so wird ch die Entfernung ihr Maass in diesem sensuellen und nicht in

einem anderen, also nicht in dem motorischen, auch nicht in dem sensibelen Prozesse finden müssen. In diesem allgemeinen Schlusse finden wir eine neue Bestätigung der mehrfach ausgesprochenen und zuletzt in §. 81 No. 1 umständlich diskutirten Ansicht, dass die Erkenntniss der Entfernung eines optischen Objektes nicht auf der Akkommodation, sondern auf der sensuellen Thätigkeit des Auges beruhe.

Wie der äussere Körper *fh* ein Objekt für das Sinnesorgan *cd* und zwar ein optisches Objekt, d. h. ein Objekt für das Auge, wenn er Lichtstrahlen aussendet, oder ein akustisches Objekt, d. h. ein Objekt für das Ohr, wenn er Schallwellen erzeugt, oder ein sensibeles Objekt, d. h. ein Objekt für das Gefühl, wenn er mechanisch wirkt, u. s. w. ist, ebenso ist das äussere Sinnesorgan *cd* stets ein sensibeles Objekt oder ein Objekt für den Gefühlsapparat. Dieser Apparat giebt uns vermöge des Muskelgefühles oder allgemeiner vermöge der Affektion, welche die materiellen Bestandtheile des Organs *cd* auf die Gefühlsnerven ausüben, eine Vorstellung von der Lage dieses Organs, also von der Lage seiner physiologischen Axe und seines physiologischen Meridians gegen die Hauptaxen unseres Körpers oder vielmehr Kopfes *k*.

Indem nun der sensibele Apparat die Vorstellung von der Stellung des Sinnesorgans *cd* gegen den Kopf und das Sinnesorgan die Vorstellung von der Stellung des äusseren Objektes gegen dieses Organ erzeugt, erhalten wir durch Kombination dieser beiden Vorstellungen die Erkenntniss aller geometrischen Beziehungen der Theile des Objektes zueinander und zu unserem Kopfe. Diese geometrischen Beziehungen zerfallen in zwei Haupttheile: die Form des Objektes, nebst der Entfernung, welche ausschliesslich durch den sensuellen Prozess des äusseren Organs erkannt wird, und die Stellung des Objektes gegen unseren Kopf, welche ausschliesslich durch den sensibelen Prozess erkannt wird, indem dieser Prozess uns Rechenschaft von der Stellung des äusseren Sinnesorgans giebt.

Auf diese Weise sehen wir also den sensibelen Apparat stets im Dienste aller Sinnesorgane, ja sogar im Dienste seiner eigenen äusseren Organe, indem die Vorstellung von der Stellung eines mit der Hand betasteten Körpers nothwendig erfordert, dass uns der sensibele Apparat Rechenschaft gebe von der Stellung unserer fühlenden Hand und Finger, deren Empfindungen uns sonst nur eine Vorstellung von der Form des befühlten Körpers geben würden.

Aber auch die Stellung aller Glieder gegen den Kopf oder die gegenseitige Lage aller Glieder, d. h. die Haltung, welche der Gesammtorganismus durch den Gebrauch des motorischen Apparates in jedem Augenblicke annimmt, wird durch den sensibelen Apparat erkannt. Endlich erkennen wir durch denselben Apparat die Stellung des Gesammtorganismus gegen den Horizont oder die Vertikale vermöge der besonderen Affektionen, welche die Schwere der einzelnen Glieder und sonstigen Bestandtheile des Körpers (z. B. des Blutes) veranlasst. Hieraus ergiebt sich die Erkenntniss der Stellung der Kopfaxe gegen die Vertikale der Erdoberfläche, und eine Kombination mit den vorhin erwähnten Vorstellungen liefert uns die Vorstellung von den geometrischen

rhältnissen des Objektes in dem durch die Vertikale und den ›rizont bestimmten äusseren Raume.

Die richtige Erkenntniss aller dieser Beziehungen setzt einen nor-ılen Körperbau voraus. Abnormität in der Körperbildung verur-·ht Sinnestäuschungen und zwar folgendermaassen.

Wenn $c'd'$ eine andere Lage des Sinnesorgans cd gegen den Kopf rstellt; so wird, wenn der Organismus normal ist, die Abweichung der ysiologischen Axe $a'b'$ von ihrer früheren Stellung ab durch den sen-belen Apparat erkannt werden, man wird also eine Vorstellung davon ıalten, dass die physiologische Axe sich jetzt um den Neigungswinkel der beiden Linien $a'b'$ und ab stärker gegen den Horizont neigt, als ıher. Ein Objekt, welches das Sinnesorgan vorher in der Richtung affizirte, affizirt dasselbe jetzt in der zu fe parallelen Richtung $f'e'$. ırch das Sinnesorgan wird der Neigungswinkel β der Linie $f'e'$ gen die physiologische Axe $a'b'$ erkannt: dieser Winkel ist um den erth α grösser, als der Neigungswinkel der Linie fe gegen die physio-gische Axe ab in der früheren Stellung des Organs. Da nun durch den ısibelen Apparat erkannt ist, dass die physiologische Axe $a'b'$ sich um n Winkel α stärker gegen den Horizont neigt, als früher; so führen ide Vorstellungen zu der Erkenntniss, dass die Linie $f'e'$ ebendie-lbe Neigung gegen den Horizont hat, wie die Linie fe, oder dass s Objekt f im äusseren Raume dieselbe Lage annimmt, ss aber seine Lage gegen das Sinnesorgan cd sich geändert hat.

Bliebe das Sinnesorgan in seiner ursprünglichen Lage und ränderte der Kopf k die seinige, wie es namentlich beim Tasten cht vorkömmt; so wird jenes Organ nach wie vor in derselben eise affizirt. Jetzt giebt uns aber das Gefühl die Vorstellung von dem ›igungswinkel, welchen jenes Organ gegen den Kopf, und zugleich n dem Neigungswinkel, welchen der in Beziehung zum Gesammtkörper rdrehte Kopf gegen seine frühere Stellung einnimmt. Die letzten iden Winkel sind einander gleich und entgegengesetzt: wir er-nnen also, dass das Objekt seine frühere Stellung im Raume bei-›hält, dass aber unser Kopf seine Stellung geändert hat.

Wenn nun aber das Sinnesorgan in der Stellung $c'd'$ so mit dem ›sammtorganismus verbunden wird, dass dabei durchaus keine Körper-eile genöthigt werden, den sensibelen Apparat zu affiziren, ein Fall, ›r eintritt, sobald wir uns einen abnorm gebauten Organismus nken, in welchem das fragliche Sinnesorgan im Ruhezustande die feh-rhafte Lage $c'd'$ statt der normalen cd annimmt; so entsteht nur ıe sensuelle, nicht aber eine sensibele Affektion; der abnorme ganismus erkennt also bloss die Grösse des Neigungswinkels $\alpha + \beta$ der nie $f'e'$ gegen die physiologische Axe $a'b'$, und wegen des Mangels der nsibelen Affektion nimmt in der Vorstellung dieses Organismus die ıysiologische Axe $a'b'$ die dem Ruhezustande entsprechende, also die-lbe Richtung gegen die Kopfaxe an, welche in dem normalen Organis-us diese Axe in der Lage ab zu besitzen scheint. Dem abnormen rganismus erscheint daher das Objekt um den Winkel α, n welchen seine physiologische Axe im Ruhezustande von

der normalen Lage abweicht, nach entgegengesetzter Seite von der Kopfaxe verrückt.

Die fehlerhafte Stellung des Sinnesorgans gegen den Kopf resp. das Gehirn erzeugt hiernach eine Täuschung über die Stellung der Objekte gegen den Kopf. Eine fehlerhafte Stellung des Kopfes resp. Gehirnes gegen den übrigen Organismus oder umgekehrt ruft, wie leicht zu erachten, eine Täuschung über die Stellung der Objekte gegen den äusseren Raum hervor. Beide Fehler können zusammen vorkommen und ihre Effekte vereinigen. Es leuchtet auch ein, dass die Abnormitäten in Verrückungen und Verdrehungen bestehen und dass sich diese konstitutionellen Fehler bald auf einzelne Theile des in Rede stehenden Sinnesorgans, Gehirnes, sensibelen Apparates und Gliedersystems, bald auf grössere Ganze erstrecken können, dass jedoch die vorstehenden Prinzipien geeignet sind, in jedem speziellen Falle den Effekt zu beurtheilen.

§. 83.

Das Grundwesen der Sinne und der Seelenkräfte.

1. Allgemeine Beziehung der Naturwissenschaft zur Philosophie. Die Philosophie hat sich die Aufgabe gestellt, das Wesen und die Gesetze des menschlichen Geistes zu erforschen. Wenn jedoch die philosophischen Doktrinen der Phrasen und Trugschlüsse entkleidet werden; so bleibt als reelles Objekt, dessen Richtigkeit mit Überzeugung anerkannt wird, ein so kleiner Kern zurück, dass man sich zu der Annahme gedrungen fühlt, dieses Missverhältniss zwischen Erfolg und vieltausendjähriger Bemühung entspringe aus der Falschheit des Weges, auf welchem die Wahrheit gesucht ist.

In der That, wer von dem Gedanken durchdrungen ist, dass der Mensch ein Produkt natürlicher Kräfte ist, kann sich der Ansicht nicht entschlagen, dass die Gesetze des Geistes nicht genügend festgestellt werden können, ehe die Gesetze des animalischen Organismus erforscht sind, dass die letzteren nicht aufgestellt werden können, ehe die der anorganischen Welt gefunden sind, und dass wiederum diese, wie überhaupt keinerlei Gesetze gehörig begründet werden können, ehe die reinen Prinzipien der Gesetzmässigkeit erkannt sind. Philosophie setzt also Physiologie, diese Physik und Chemie, diese Mechanik und alle diese empirischen Wissenschaften setzen Mathematik voraus. Nur auf den Schultern der einen kann die andere Wissenschaft erbaut werden. Die Philosophen erkennen aber einen solchen Zusammenhang nicht an; sie wollen den Schatz aus der Tiefe der Erde nicht durch bergmännische Arbeit nach der Anleitung geognostischer Gesetze heben und durch hüttenmännische Prozesse auf Grund mineralogischer, physikalischer und chemischer Gesetze gewinnen, sondern sie wollen ihn mit der Wünschelruthe der reinen Spekulation zur Stelle zaubern. Sie erscheinen zumeist als Baumeister, welche zur Errichtung eines Gebäudes nicht mit den Grundmauern, sondern mit dem Dache anfangen, welche einen Bau-

gründen wollen, ohne sich um die Natur des Baumaterials zu kümrn, welche einen Zweck erfüllen zu können glauben, ohne dass die ttel dazu erwogen zu werden brauchen.

Wie es unmöglich ist, ein höheres Theorem der Mathematik zu erthen, d. h. ein solches zu finden, ohne die niedrigeren entwickelt zu ıen, oder ohne Studien der Physik und Chemie die Theorie der Elekzität, der Wärme, der Äquivalente oder ähnlicher Naturgesetze durch ntisiren herauszubringen oder ohne physiologische, physikalische und mische Forschungen die Gesetze der Pflanzenentwicklung zu ergrünı, ebenso unmöglich ist es, ohne alle diese Wissenschaften die Gesetze Geistes zu erkennen.

Allerdings ist es nicht nothwendig, dass der Einzelne alle jene ssenschaften vollständig umfasse; ebenso wenig ist es nöthig, dass erst vorhergehenden Wissenschaften bis zur äussersten Spitze der Vollenıg geführt seien, ehe an die folgende Wissenschaft gegangen werden ın. Um in einer der letzteren Wissenschaften mit Erfolg wirken zu ınen, genügt es, wenn die ersteren Wissenschaften von Anderen erscht sind, sodass sich der Einzelne der gewonnenen Resultate bechtigen kann; es ist auch zulässig alle jene Wissenschaften zu gleier Zeit zu begründen und miteinander zu fördern. Allein so l steht meines Erachtens unerschütterlich fest, dass ohne Kenntniss r Hauptresultate der ersteren Wissenschaften und ohne die Absicht, letzteren durch die ersteren zu begründen, von einem namhaften folge keine Rede sein kann, auch dass jeder Erfolg in einer der letzen Wissenschaften genau auf demjenigen Niveau steht, welches der and der Gesammtheit der ersteren zulässt.

Da das Alterthum von der Physiologie, Physik und Chemie gar ne, von der Mechanik höchst dürftige und von der Mathematik keine fassenden Kenntnisse hatte; so lag für die Philosophie die äussere Unglichkeit vor, trotz der bedeutenden Anstrengung bevorzugter Geister ächte zu tragen: denn die Resultate der berühmtesten philosophischen ulen des Alterthums sind doch nur Trugbilder einer glänzenden Phane ohne objektive Wahrheit. Die Basis hat sich über das Mittelalter aus bis in die neuere Zeit nicht verändert, und demnach auch nicht Erfolg. In unseren Tagen bieten zwar die Vorwissenschaften manch lliche Stütze, und die grössten philosophischen Geister, wie Kant, haben en Beachtung geschenkt: allein im Ganzen hat die philosophische Forung noch den alten Zug beibehalten und sich noch nicht von dem hne befreit, die Naturwissenschaften und die Mathematik behren zu können.

Der Geist ist eine Naturerscheinung und darum ist Philosoie Naturwissenschaft. Nur ein spezielles Stück von ihm ist Verstand; die Resultate der reinen Thätigkeit des Verstanund nur sie allein unterliegen dem Prinzipe der apodiktischen thwendigkeit; sie allein sind es daher, welche den Gegenstand der thematik ausmachen, welche kein anderes Prinzip, als das der Nothıdigkeit, mithin keine Erfahrung zulassen, sondern nur durch sich bst, d. h. auf dem Wege der reinen Spekulation gewonnen werkönnen. Alles Übrige aber, insbesondere die Thätigkeit des Ge-

müthes, ferner die Eigenschaften und das Grundwesen der Seelenkräfte, die des Verstandes mit eingeschlossen, sowie die Beziehungen des Geistes zur Welt sind Thatsachen, also naturwissenschaftliche Probleme, welche nur auf Grund von Beobachtung auf dem Wege der Induktion, nicht durch blosse Spekulation gelös't werden können.

Die blosse Spekulation auf dem Gebiete der Thatsachen, ohne experimentelle Unterlage und Induktion, liefert Resultate, welche nur den Charakter der Möglichkeit unter ideellen oder selbstgeschaffenen Voraussetzungen, nicht den Charakter der Möglichkeit unter reellen oder gegebenen Voraussetzungen, also nicht den Charakter der Wahrscheinlichkeit, am wenigsten den der Gewissheit, als höchsten Wahrscheinlichkeitsgrades, an sich tragen. Resultate von der ersteren Eigenschaft sind aber Luftschlösser, weil sie der Wirklichkeit nicht entsprechen, und darum werthlos.

Man wende nicht ein, dass die Philosophie doch in mancher Hinsicht Erfolge aufzuweisen hat, z. B. in der Logik. Diese Erfolge betreffen nur die reine Logik, d. h. die formalen Grundsätze des richtigen Denkens oder die Theorie des Schliessens. Der Aufbau dieser Wissenschaft kann allerdings nur durch Spekulation geschehen; dieselbe ist aber auch in meinen Augen nichts Anderes als Mathematik: denn das Wesen der Mathematik besteht nicht in Formeln und Figuren, sondern in den reinen Verstandesgesetzen; sie umfasst also die Logik. Lässt man die reine Logik, welche auch überhaupt nicht zur eigentlichen Philosophie gerechnet wird, ausser Betracht; so finden sich unter den vielen und ewig wechselnden philosophischen Systemen und Ansichten, welche kein Mensch ausser ihrem Erfinder mit Überzeugung für wahr hält, welche auch der Jünger nicht begreift, selbst wenn er sie auf die Autorität des Meisters hin weiter lehrt, nur einzelne, sporadisch vorkommende Ahnungen von Dem, was man ein Naturgesetz nennen kann.

Indem ich im Nachfolgenden einen schwachen Versuch der induktiven Ableitung philosophischer Sätze aus naturwissenschaftlichen Betrachtungen mache, darf ich auf die Nachsicht des Lesers für etwaige Irrthümer rechnen, da der heutige Stand der Naturwissenschaften nur erst ein schwaches Licht über die Gesetze der Natur verbreitet.

2. Anzahl der Sinne. Unsere Untersuchungen über den materiellen Prozess der Sinnesnerven lehren, dass dieser Prozess in den Nerven aller verschiedenen Sinne (wozu wir auch das Gefühl rechnen) dieselben Grundeigenschaften hat. Dieser Grundeigenschaften sind fünf an der Zahl: Elastizitätsbewegung (Vibration) des Äthers, Elastizitätsbewegung des Ponderabelen, Dichtigkeitsveränderung der Körpermasse, d. h. Veränderung der Verhältnisse der gleichartigen Körpermasse (wobei also in den Molekülen weder das Quantitätsverhältniss zwischen Äther und Ponderabelem, noch die Anordnung zwischen Beiden alterirt wird), chemische Veränderung, d. h. Veränderung des Quantitätsverhältnisses zwischen dem Äther und dem Ponderabelen, kosmetische Veränderung, d. h. Veränderung der Anordnung zwischen dem

ıer und dem Ponderabelen (ohne Veränderung des Quantitätsverhält- :es Beider).

Aber nicht bloss hinsichtlich der Grundeigenschaften des Prozesses :eder primitiven Nervenfaser, sondern auch hinsichtlich der Be- ıligung der einzelnen Fasern des Gesammtbündels, welche den nesnerven bilden, herrscht für alle Sinnesthätigkeiten dieselbe Gemein- aftlichkeit in der Weise, dass das zwischen den einzelnen affizirten ıern bestehende Verhältniss einerseits von der Beschaffenheit des jektes abhängt und andererseits den Sinneseindruck mit bestimmt.

Prinzipiell in gleicher Weise verhält sich jeder anorganische rper, wenn derselbe irgendwie von aussen beeinflusst wird. Gleichviel ein Stück Eisen durch einen Stoss, durch Wärme, durch einen Licht- ıhl, durch eine Säure oder auf sonstige Weise getroffen wird; immer :en alle jene Veränderungen oder Prozesse in ihm auf. Die Abhängig- t zwischen Äther und Ponderabelem bedingt es, dass jeder spezielle ozess alle übrigen hervorruft, wie die Bewegung eines Theiles einer schine die Bewegung aller übrigen nach sich zieht.

Allein wie in jedem anorganischen Körper von den verschiedenen ızelprozessen bald der eine, bald der andere, bald mehrere vorherr- ıen, und zwar bald in schwächerem, bald in stärkerem, bald in so hem Grade, dass die übrigen Einzelprozesse dagegen verschwinden, ferner das Vorwiegen gewisser Prozesse, überhaupt das Verhält- s der Einzelprozesse untereinander, theils von der Art des äusse- ı Angriffes, theils von der Beschaffenheit des affizirten Kör- rs abhängt (indem z. B. ein Stück Eisen bei mässigem mechanischen griffe nur Form- und Dichtigkeitsveränderungen, bei stärkerem Angriffe h Wärme und bei höher gesteigertem Angriffe Licht zur Erscheinung ıgt, oder indem unter gewöhnlichen Verhältnissen eine gespannte Saite ht auf mechanische und schwer auf Lichtvibrationen, ein Stück Glas gegen leicht auf Licht- und schwer auf Wärmevibrationen, ein Mecha- nus leicht auf Druck und schwer auf Vibrationen, ein Stück Kreide ht auf Schwefelsäure und schwer auf Schallschwingungen reagirt); ız ebenso herrscht in den Nerven der verschiedenen Sinne r eine oder der andere Einzelprozess vor, ohne dass die rigen Prozesse darum ganz fehlten.

Die verschiedenen Sinnesnerven sind so organisirt, dass jede be- ndere Nervenart nur durch einen einzigen der fünf speziellen ozesse der Aussenwelt, niemals durch mehrere erregt wer- n kann, und ferner, dass hierdurch in den Nerven der mit der äusse- Erregung korrespondirende Spezialprozess zu vorwiegender Herr- ıaft gelangt, wenngleich zuweilen mehrere der übrigen Spezialpro- se hierbei eine nicht unerhebliche Nebenrolle spielen.

Hieraus ergeben sich fünf Sinne: das Gesicht, dessen Nerven rch die Vibrationsbewegung des Äthers, das Gehör, dessen Nerven ch die Vibrationsbewegung des Ponderabelen, das Gefühl, dessen rven durch die Dichtigkeitsschwingungen, der Geschmack, sen Nerven durch chemische Oszillation, der Geruch, dessen rven durch kosmetische Oszillation in Thätigkeit gesetzt werden. ıer, Ponderabeles, mechanische Raumerfüllung, chemische Körperbeschaf-

fenheit und kosmetische Verbindung sind also die fünf Grundlagen, durch welche die Aussenwelt auf den Menschen einwirkt und zu deren Erkenntniss er mit den fünf Sinnen begabt ist.

Jeder der fünf Sinne wird nur durch einen einzigen der gedachten fünf äusseren Prozesse erregt. Der daraus sich entwickelnde sensuelle Nervenprozess zeigt aber, wie vorhin erwähnt, alle fünf Einzelprozesse, so jedoch, dass nur einer, nämlich der mit dem äusseren Prozesse korrespondirende, vorwaltet und dem Sinne seinen Charakter verleiht, während die übrigen Prozesse eine bald mehr, bald weniger erhebliche Nebenrolle spielen.

Durch Vorstehendes trete ich der in der neueren Physiologie herrschenden, durch Johannes Müller begründeten Ansicht entgegen, dass der Nervenprozess in den verschiedenen Sinnesnerven immer derselbe sei und dass der Unterschied der verschiedenen Sinnesempfindungen nicht von den äusseren Einwirkungen, sondern von den verschiedenen Nervenapparaten, welche sie aufnehmen, abhänge, dergestalt, dass man sich alle Sinnesnerven wie Telegraphendräthe vorstellen könnte, welche stets durch ein und denselben galvanischen Prozess erregt werden, aber dennoch, je nach dem Apparate, welchen sie bedienen, Depeschen geben, Glocken läuten, Minen entzünden, Wasser zersetzen, Magneten bewegen, Eisen magnetisiren, Licht entwickeln u. s. w. (vergl. die Lehre von den Tonempfindungen von Helmholtz S. 220 ff.). Hieraus soll sich denn auch erklären, dass der Sehnerv, gleichviel ob er durch Licht, durch Zerrung, durch Druck oder durch Elektrizität erregt wird, immer nur Lichtempfindung, der Gehörnerv nur Tonempfindung u. s. w. und dass der Sehnerv nur Lichtempfindung, niemals Gehör- oder Tast- oder Geschmacksempfindung hervorbringe.

Diese Ansicht beruht entschieden auf Irrthum; sie ist durch Nichts wahrscheinlich gemacht, geschweige erwiesen. Mit demselben Rechte könnte man behaupten, alle anorganischen Prozesse seien dieselben und nur der Apparat, der Körper, auf welchen sie wirken, bedinge ihre Verschiedenheit: Licht, Wärme, Elektrizität, Chemismus, Schall u. s. w. sei Alles einunddasselbe Prozess und äussere sich nur anders, jenachdem davon der Äther oder das Ponderabele oder dieser und jener Körper getroffen werde. So gewiss nun die eben genannten anorganischen Thätigkeiten spezifisch verschiedene Prozesse darstellen, ebenso gewiss sind auch die Nervenprozesse spezifisch verschieden, welche zu ihrer Entstehung jene spezifisch verschiedenen anorganischen Prozesse verlangen.

Dass gleichwohl unter abnormen Verhältnissen der Sehprozess auch durch andere Impulse, als durch Ätherschwingungen, z. B. durch mechanische Impulse, erregt werden kann, erklärt sich dessenungeachtet aus dem Zusammenhange, in welchem die verschiedenen Kräfte der Materien untereinander stehen. Durch den mechanischen Stoss wird auch stets der Äther, welcher in dem gestossenen Körper mit dem Ponderabelen verbunden ist, mit erschüttert: ist also die mechanische Erschütterung geeignet, um regelmässige Ätherschwingungen zu erzeugen, so kann sie die Veranlassung zu Lichtempfindungen geben. Allein immer ist der mechanische Druck doch nicht das unmittelbare oder

inzipielle Agens für die Lichtempfindung, sondern nur die Gelenheitsursache dazu in der Weise, dass er die Ätherschwingung lingt, welche jene Empfindung direkt hervorruft. Wenngleich also dem mechanischen Drucke eine Lichtempfindung entspringt; so bleibt :h für diese Empfindung das Spezifische des Druckes, nämlich die chanische Affektion etwas ganz Gleichgültiges, und nur das Spesche der Ätheraffektion das allein Maassgebende und Wesentliche.

3. Allgemeine Beziehung der geistigen Thätigkeit zur Ausıwelt. Ehe wir die Eigenthümlichkeit jedes einzelnen Sinnes näher ınzeichnen, müssen wir hervorheben, dass es sich hierbei um die Wirng des organischen oder physiologischen Nervenprozesses auf den ıschlichen Geist handelt, also weder um diesen Nervenprozess ost, noch um den äusseren, vom Objekte unmittelbar erzeugten ysikalischen Prozess, dessen Folge der Nervenprozess ist. Die Ereinungen aber, welche die Wirkung einer Ursache ausmachen, sind sentlich verschieden von der Ursache selbst: sie bilden Erzeugnisse einem ganz neuen, der wirkenden Ursache völlig fremden Matele, welches unter dem Einflusse jener Ursache und der gleichigen Mitwirkung seiner eigenen Kräfte sich gesetzlich ändert. nun die wesentliche Eigenschaft des animalischen Organismus oder Individuums (der Person) der Geist ist; und da nach §. 73 r Geist die Resultante aller zu einem Organismus verndenen Materie ist, folglich sich mit jeder Änderung des ganismus in gesetzlicher Weise mit ändert; so werden die griffe der Aussenwelt auf das Individuum, indem sie den Körper maiell ändern, auch den Zustand des Geistes ändern und hierin d eben ihre wesentliche Wirkung bestehen, da der Geist die sentliche Kraft des Individuums ist.

Die Wirkung der Aussenwelt auf das Individuum ist also nichts leres, als die Erzeugung und Änderung der Zustände dieses Iniduums. Sich eines solchen Zustandes bewusst sein, heisst die sere Ursache desselben oder den betreffenden Gegenstand der ssenwelt, welcher jenen Zustand durch seine Einwirkung hervorrief, :ennen. Unsere Vorstellungen von den Dingen sind hier:h Erkenntnisse unserer eigenen Zustände oder unserer bst oder unseres Geistes unter der Einwirkung jener ıge.

Wenngleich ein solcher Zustand unserer selbst die Grundeigenschafunserer selbst d. h. die des Geistes trägt; so muss derselbe doch des-), weil er durch die Einwirkung des Aussendinges entstanden ist, den Kräften oder Eigenschaften dieses Dinges in einer naturetzlichen Beziehung stehen, d. h. die Eigenschaften, welche wir ı Dinge in unserer Vorstellung zuschreiben, werden, obgleich sie in hrheit keine Eigenschaften jenes Dinges, sondern nur Eigenschaften eres eigenen augenblicklichen Zustandes sind, doch den wirklichen genschaften des Dinges äquivalent sein. Hiernach können wir . behaupten, dass die gleichartigen Vorstellungen auch gleichigen Eigenschaften entsprechen und das quantitative Maass dersel-

ben enthalten oder ihnen proportional seien, ferner dass die ungleichartigen Vorstellungen auch mit ungleichartigen Eigenschaften korrespondiren und überhaupt, dass der allgemeine gesetzliche Zusammenhang, welcher zwischen unseren Vorstellungen von den Eigenschaften der Dinge besteht, auch zwischen diesen Eigenschaften selbst obwaltet.

Hieraus folgt nun klar, dass unsere Vorstellungen von einem Aussendinge, da sie das Resultat der Zusammenwirkung zweier Systeme, nämlich der Kräfte unseres eigenen Organismus mit den Kräften jenes Aussendinges sind, gleichzeitig von dem Grundwesen beider Systeme etwas Wesentliches an sich tragen müssen, und zwar muss der eigene Organismus, da er selbst der subjektive Gegenstand unserer Vorstellung ist, die Art oder Qualität der Vorstellung ausmachen, während das Aussending, da es die Besonderheit des Zustandes unseres Organismus bedingt, den Werth oder die Grösse oder Quantität der Vorstellung bestimmt. Die Qualität der Vorstellung oder Dasjenige, was unser eigener Organismus zur Vorstellung hinzuthut, ist daher das Allgemeine, Beständige, Beharrliche, welches alle Vorstellungen zeigen, die durch denselben Prozess erzeugt werden: der Werth der Vorstellung dagegen oder Dasjenige, was das Aussending hinzuthut, ist das Besondere, Spezielle, Veränderliche, welches die einzelnen Vorstellungen, die durch denselben Prozess erzeugt werden, von einander unterscheidet.

So ist z. B. bei allen sichtbaren Gegenständen der Raum Dasjenige, welches allen solchen Gegenständen in derselben Weise zukömmt, die unveränderliche Qualität aller Vorstellungen von sichtbaren Dingen, welches also nicht von den Gegenständen selbst, sondern nur von unserem Organismus herstammen kann, sodass wir nach Kant dem Raume durchaus keine objektive, sondern nur eine subjektive Bedeutung zuschreiben, denselben nicht für eine Eigenschaft der Dinge, sondern für eine Eigenschaft unseres Organismus ansehen. Grösse, Ausdehnung, Richtung, Form, Lage, Ort, überhaupt die räumlichen Eigenschaften eines Dinges bilden dagegen den veränderlichen Werth, wodurch sich die Vorstellung des einen Dinges von der eines anderen unterscheidet, also die Ursache des veränderten Zustandes, in welchen unser Organismus bei der Betrachtung verschiedener Dinge versetzt wird. Diese Ursache der Veränderung unseres Zustandes kann keine innere, sondern nur eine äussere sein, mithin nur in dem vorgestellten Gegenstande selbst liegen: die erwähnten räumlichen Eigenschaften müssen also dem äusseren Gegenstande entsprechen, d. h. sie müssen den wirklichen Eigenschaften desselben äquivalent oder proportional sein. Identisch können diese vorgestellten Eigenschaften mit den wirklichen Eigenschaften des Gegenstandes offenbar nicht sein, weil ihre Qualität, nämlich die Räumlichkeit, ja keine objektive, sondern nur eine subjektive Bedeutung hat. Die Äquivalenz zwischen den vorgestellten und den wirklichen Eigenschaften ist aber hinreichend, um zu behaupten, dass das in den vorgestellten Eigenschaften liegende Gesetz oder die zwischen denselben bestehende gegenseitige Beziehung den Gegenständen der Aussenwelt

irklich zukomme. Obwohl also das Wesen der geometrischen Fiiren nur eine subjektive Bedeutung hat, schreiben wir doch den geoetrischen Gesetzen objektive Wahrheit zu. Der Sinn dieses Satzes läutert sich an einem Beispiele so: Was die wahre Eigenschaft eines inges ist, das uns als gerade Linie erscheint, wissen wir nicht: denn der Raum und demnach auch der Begriff einer Linie nur der subktiven Form unseres geistigen Anschauungsvermögens entspricht; gestattet derselbe durchaus keinen Schluss auf die wirkliche Eienschaft des Dinges, welches diesen Begriff hervorruft. Wenn dagen aus einer geometrischen Betrachtung folgt, dass unter gewissen Bengungen die eine Linie doppelt so lang sei als die andere; so hat dies geometrische Gesetz objektive Wahrheit: denn es gilt für e wirklichen Eigenschaften, welche den Begriffen jener beiden raden Linien zu Grunde liegen, gleichviel, worin das wirkliche esen dieser Eigenschaften bestehen möge, und sagt aus, dass e uns gänzlich unbekannte, aber den Begriff der Linie erzeugende igenschaft des einen Dinges einen doppelt so grossen Werth be, als die gleichartige Eigenschaft des anderen Dinges.

Wir sehen, dass Das, was ich soeben ein Gesetz nannte und welchem h objektive Wahrheit zusprach, von dem Begriffe der Linie und erhaupt von der speziellen Art der Grössen, auf welche es sich beeht, ganz unabhängig ist, dass es für alle Grössenarten gilt, dass also auch nicht ausschliesslich ein geometrisches, sondern ein allgeeines Gesetz ist. Dasjenige also, was wir aus der Betrachtung r Aussendinge mit dem Bewusstsein der objektiven Wahrit abstrahiren, sind allgemeine Gesetze, welche auf alle rössenarten Anwendung finden.

Durch die Eindrücke, welche wir in der Wechselwirkung it der Welt empfangen, enthüllt sich uns hiernach einerseits e Natur unseres eigenen Geistes und andererseits die Getzmässigkeit der Welt.

4. Die Sinnesthätigkeit. Um die Grundeigenschaften unseres eistes kennen zu lernen, müssen wir die verschiedenen Prozesse unterchen, durch welche Eindrücke auf uns gemacht werden, d. h. durch elche unser Organismus in verschiedenartige Zustände versetzt wird. nächst bieten sich hierzu die Thätigkeiten der Sinne dar. Wenngleich ich No. 2 jeder Nervenprozess verschiedene Thätigkeiten entilt und demzufolge verschiedenartige Seeleneindrücke hervorift; so ist doch eine dieser Thätigkeiten die vorherrschende, hauptichliche oder spezifische des betreffenden Sinnes. Wir können mnach erwarten, dass jeder Sinn darauf angelegt ist, vorzugsweise auf ne bestimmte Grundeigenschaft oder Grundform unseres ganischen Wesens zu reagiren. Die fünf Sinne müssten is daher fünf Grundformen unseres Geistes offenbaren.

Betrachten wir zunächst das Gesicht. Durch den vom Lichtstrahle regten Prozess des Sehnerven wird unser Organismus (und insonderheit s Gehirn) in einen Zustand von besonderer Art versetzt. Das Versetztin des eigenen Organismus in diesen Zustand belegt der Mensch mit

dem Ausdrucke Erkenntniss oder Vorstellung einer Räumlichkeit oder einer Raumgrösse. Die spezifische Form dieses unseres eigenen Zustandes ist also der Raum. (Dass überhaupt der Raum bei allen sichtbaren Dingen das Gemeinsame und Beharrliche und demzufolge die subjektive Eigenschaft unserer selbst ist, um welche es sich hier handelt, ist schon vorhin erwähnt). Da nur diejenigen Gegenstände, welche fähig sind, einen solchen Zustand unseres Organismus zu erzeugen, uns im Raume oder als Raumgrössen erscheinen, da also diese Gegenstände eine besondere objektive Beschaffenheit haben, welche allen übrigen Gegenständen fehlt; so erklärt es sich, dass der Mensch unwillkürlich die Räumlichkeit für diese besondere objektive Eigenschaft der Dinge hält, während sie doch nur eine besondere subjektive Eigenschaft seiner selbst ist.

Da der Prozess des Sehnerven, wie wir vorhin gezeigt haben, nicht einfach ist; so ist vorherzusehen, dass seine Wirkung sich nicht ausschliesslich auf die Affektion des Raumsinnes beschränkt, dass derselbe vielmehr noch andere Grundeigenschaften unseres Organismus anregt. Diese Wirkung, welche wir weiter unten betrachten werden, ist jedoch eine nebensächliche; die wesentliche Wirkung des Auges ist nach meinem Dafürhalten die Erkenntniss des Raumes.

Wenden wir uns jetzt zum Gehöre. Die Eindrücke, welche wir durch den Prozess des Gehörnerven erhalten, sind Schallerscheinungen oder Laute. Das allen Schallerscheinungen Gemeinsame, das bei der Veränderung dieser Erscheinungen seine Beharrlichkeit bewahrende, von dem schallenden Objekte durchaus Unabhängige, also keine objektive, sondern nur subjektive Bedeutung habende, ist die Zeit. Die Zeit ist daher die zweite Grundform unseres eigenen Selbst und das Ohr ist dasjenige Organ, vermittelst dessen die Schallerscheinungen, welche nichts Anderes als Zeitgrössen sind, unsern Organismus in den betreffenden spezifischen Zustand, welcher den Eindruck der Zeit hervorbringt, versetzen.

Wie der optische Prozess, so ist auch der akustische nicht einfach; derselbe erregt noch einige anderen Zustände unserer selbst, von denen wir sogleich reden werden. Die wesentliche und spezifische Wirkung des Gehöres ist jedoch auf die Zeit gerichtet. Zeit und Raum bezeichnen zwei auf ganz gleicher Stufe der Bedeutung stehende Grundformen des menschlichen und überhaupt des animalischen Wesens: die wesentliche Verschiedenheit der Rangstufe, auf welche Kant diese beiden Grundformen der Sinnlichkeit stellt, indem er den Raum als die Form eines äusseren Sinnes, mit welchem wir die äusseren Gegenstände anschauen sollen, die Zeit dagegen als die Form eines inneren Sinnes annimmt, mit welchem wir die Veränderungen unserer eigenen Seelenzustände anschauen sollen, beruht auf einer Täuschung. Raum und Zeit nehmen sowohl in ihrer Eigenschaft als Grundformen unserer Sinnlichkeit, als auch in ihrer Bedeutung für die Aussenwelt eine ganz gleiche Stellung ein. Sie sind beide subjektive Bedingungen der Sinnlichkeit für die Erscheinung äusserer Dinge. Indem wir die Veränderungen unserer selbst anschauen,

ielt unsere eigene Seele nur die Rolle eines Aussendinges. Der Umand, dass diese Veränderungen in der Zeit vor sich gehen, rechtfertigt also nicht, der Zeit eine wesentlich andere Bedeutung zuzuschreiben, s dem Raume. Ausserdem entbehren auch die Veränderungen unser selbst der Räumlichkeit nicht: denn alle unsere Seelenthätigeiten gehen im Raume vor sich und es erfordert eine besondere Abraktion, dieselben der Räumlichkeit zu entkleiden. Mit Hülfe r Abstraktion würden wir aber auch manche Seelenthätigkeiten des erkmales der Zeit entkleiden können.

Diejenige Grundeigenschaft, welche die Raumgrössen voneinander terscheidet, welche also eine objektive Bedeutung hat, ist die Quantät, und ein spezieller Werth derselben ist die Grösse des Objektes der auch wohl selbst die Quantität des Objektes genannt). Für die eitgrössen wollen wir jene objektive Eigenschaft die Distensität nnen; ihr spezieller Werth ist die Dauer.

Der dritte Sinn ist das Gefühl. Durch den sensibelen Prozess erlten wir die Eindrücke von Intensitätserscheinungen oder Innsitätsgrössen. Dasjenige, was allen diesen Erscheinungen in gleier Weise zukömmt und sich mit der Änderung desselben nicht ändert, s also nur eine subjektive Bedeutung haben kann, ist der allgemeine griff von Kraft. In dieser allgemeinen und abstrakten Bedeutung, als sdruck für das Gesammtbereich aller speziellen Intensitätsgrössen, bechnet Kraft ganz ebenso wie Raum und Zeit eine subjektive Form serer Sinnlichkeit, und das Gefühl ist derjenige Sinn, welcher priniell darauf angewiesen ist, auf den betreffenden Seelenzustand zu reaen. Das Variabele in der Erscheinung, welches also den Kraftgrössen objektive Eigenschaft zukömmt, ist die Intensität; ihr spezieller Werth der Grad.

Wie der Raum die subjektive Form für das Nebeneinandersein d die Zeit die Form für das Nacheinandersein ist; so stellt Kraft Form für das Ineinandersein dar. Zwei Intensitäten, welche sich einer einzigen zusammensetzen, zwei Medien, welche sich durchdringen d ein Medium von grösserer Dichtigkeit bilden, existiren weder beneinander, noch nacheinander, sondern in demselben Raume und derselben Zeit oder vielmehr ganz unabhängig von Raum und Zeit einander.

Kraft in vorstehender Bedeutung ist eine Beziehung zwischen eichartigen Dingen. Das allgemeine Reich der Kraft schliesst die avitation oder Attraktion als einen besonderen Fall in sich. Jedenls ist diese Grundkraft der Natur (§. 73) die Grundlage aller Kraftössen und dadurch auch unseres Begriffes von Kraft und des subtiven Zustandes unseres Organismus, dessen Erregung wir den Eindruck Kraft nennen. Aus dem Begriffe von Kraft, in Verbindung mit dem griffe von Substanz oder Materie als Trägerin der Kraft, entspringt nittelbar der Begriff von Masse und von Dichtigkeit, welcher vorgsweise für die anorganischen Geschöpfe Bedeutung hat.

Der vierte und fünfte Sinn, nämlich der Geschmack und der Geruch, ern Eindrücke, welche mit denen des Gefühles eine gewisse Ähnlichkt zu haben scheinen, indem das Beharrliche in ihnen ebenfalls als eine

gewisse Kraft der Materie aufgefasst oder doch in unserer Sprache so benannt wird. Allein diese Ähnlichkeit ist nur eine scheinbare: denn während es sich bei den Intensitäten oder Kräften im engeren Sinne des Wortes um Beziehungen zwischen gleichartigen Dingen oder um Quantitätsgesetze handelte, kommen jetzt die Beziehungen zwischen ungleichartigen Dingen oder die Qualitätsgesetze in Betracht.

Der Ausdruck Kraft wird in unphilosophischer Weise gewöhnlich von allen Eigenschaften oder Fähigkeiten der Materie gebraucht. Es wäre besser, diesen Ausdruck nur für die Intensitäten zu gebrauchen und die auf die Qualität beruhenden Fähigkeiten gar nicht Kräfte, sondern Neigungen zu nennen (vgl. §. 2 und §. 73).

Das Geschmacksorgan reagirt vorzugsweise auf die chemische Neigung der Stoffe oder auf die Affinität. Diese Neigung ist jedoch nur eine Spezialität der Wahlverwandtschaft der Systeme oder Arten überhaupt, von welcher wir in §. 73 gesehen haben, dass sie sich zwischen den Geschöpfen aller Naturreiche, zwischen chemischen Körpern oder Mineralsystemen, wie zwischen vegetabilischen und animalischen Systemen zeigt und allgemein aus gewissen Eigenschaften verschiedener Systeme oder verschiedener Arten entspringt.

In den Vorstellungen, welche aus den verschiedensten Geschmackseindrücken entstehen, verharret als etwas Unwandelbares, was also nur eine Form unserer eigenen Sinnlichkeit darstellen kann, der allgemeine Begriff von Art oder von System. Das in diesen Vorstellungen Wechselnde, welches den Aussendingen an sich zukömmt, ist die Eigenschaft des Systems oder der Art, welche wir Qualität nennen wollen; der spezielle Werth einer Qualitätsgrösse soll ihre Eigenartigkeit heissen.

Für die anorganische Welt und in Verbindung mit dem Begriffe von Substanz, als Träger der Fähigkeiten, entspringt aus dem allgemeinen Begriffe von System oder Art der Begriff von Stoff und aus dem Begriffe der Systemsverwandtschaft der von chemischer Affinität.

System oder Art ist die subjektive Form für das Durcheinandersein der Dinge. Wenn zwei verschiedenartige Stoffe oder zwei verschiedene Systeme *A* und *B* sich auf Grund der Verwandtschaftsgesetze zu einem neuen Systeme *C* verbinden; so ist in dem neuen Stoffe oder Systeme, welches eine ganz besondere Qualität oder Affinität zeigt, das eine System *A* Das, was es ist, nur durch das andere System *B*, d. h. die neue Qualität von *A* ist bedingt durch die Qualität von *B*, und umgekehrt. Man erkennt auch, dass dieses Durcheinandersein der Systeme ganz unabhängig ist von dem Nebeneinandersein des Raumes, von dem Nacheinandersein der Zeit und von dem Ineinandersein der Kräfte.

Die Qualitätsbeziehungen trennen sich in zwei selbstständige Hauptklassen. Erstens in solche, welche sich auf Quantitätsverhältnisse stützen, bei welchen also die Qualität des Systems zugleich von der Qualität und Quantität der Komponenten abhängt: diese Klasse umfasst das Bereich der Wahlverwandtschaft, welche für Mineralien Affinität oder chemische Wahlverwandtschaft heisst. Zweitens in solche, welche sich auf die Anordnung stützen, bei welchen also die Qualität des Systemes zugleich von der Qualität und Anordnung der Kompo-

enten abhängt: diese Klasse umfasst ein Bereich von Beziehungen, welles in den Naturwissenschaften keinen allgemeinen Namen trägt. In ihren rundzügen treten diese Beziehungen im Wesen des Kosmetismus, . h. in der Neigung des Äthers zum Ponderabelen hervor, indem sie en Zustand der durch Kosmetismus gebildeten chemischen Elemente, so deren Aggregatzustand (die Starrheit, Flüssigkeit und Gasform), die rystallform (das Gefüge, die Struktur, den Polymorphismus und den morphismus) bedingen. Demzufolge nennen wir die in Rede stehende ähigkeit der Materie und überhaupt der Systeme die kosmetische eigung oder das kosmetische Verhalten der Komponenten.

Wie nun der Geschmack hauptsächlich auf die chemische Neigung ler den Chemismus, so reagirt der Geruch vorzugsweise auf die kosetische Neigung. Die psychologische Wirkung hiervon oder die hierurch affizirte subjektive Form unserer Sinnlichkeit nennen wir Charaker. Die objektive Eigenschaft dieser Sinnesthätigkeit wollen wir Modatät und ihren speziellen Werth den Ausdruck der Charaktergrösse ennen.

Da Charakter, Modalität, Ausdruck auf einer Beziehung der Theile m Ganzen beruht, welche man, wenn es sich um Raumgrössen handelte, re charakteristische Form oder ihren Formcharakter nennen ürde, indem sie wesentlich die in der Form liegenden Verhältnisse etrifft; so kann man sagen, Charakter sei das Füreinandersein r Dinge. Indem sich nämlich die Elemente einer Charaktergrösse in lche Beziehungen (Anordnungen, Formen etc.) zu einander setzen, dass s der Zusammenwirkung ein bestimmter Charakter hervortritt, existirt s eine für das andere oder im Interesse des anderen zur Hervorbringng eines einheitlichen und besonderen Effektes. So verleiht z. B. bei r Lichtvibration des Äthers die Mitthätigkeit des Ponderabelen dem Lichte nen Charakter oder Glanz und bei der akustischen Vibration eines stems von ponderabelen Atomen die Mitthätigkeit der übrigen Atome m Schalle irgend eines Atoms seinen Charakter oder Klang.

Dass wir die hauptsächliche oder spezifische Wirkung des Geschmakes in die Erkenntniss der Qualität, die spezifische Wirkung des Geiches dagegen in die Erkenntniss des Charakters setzen, wird nicht fremden. Für die Zunge ist die Qualität oder Art des Objektes oder r chemische Stoff, für die Nase dagegen ist der Charakter des Geches das Wesentliche (§. 79 und 80).

Nach Vorstehendem entsprechen den fünf Sinnen Sehen, Hören, ühlen, Schmecken, Riechen die fünf Grundformen unserer Sinnlichit Raum, Zeit, Kraft, Art, Charakter: dieselben drücken die fünf ziehungen des Nebeneinander, Nacheinander, Ineinander, urcheinander, Füreinander aus. Die Grundfähigkeiten, welche die ussendinge in den Stand setzen, auf die fünf Sinne des animalischen Ornismus zu wirken, sind Elastizität des Äthers, Elastizität des nderabelen, Gravitation, Affinität, Kosmetismus.

Durch die fünf Sinne erhalten wir das Bewusstsein von fünf Haupter Grundeigenschaften der Dinge, von der Quantität oder Vielheit, n der Distensität oder Zeitlichkeit, von der Intensität, von der ıalität und von der Modalität, deren spezielle Werthe resp. die

Namen Grösse, Dauer, Grad, Eigenartigkeit, Ausdruck tragen und von welchen wir sagen, dass sie sich resp. quantitativ, distensiv, graduell, qualitativ und expressiv unterscheiden. Die ersten drei Eigenschaften bilden messbare oder mathematische Grössen, welche den eigentlichen oder mathematischen Gesetzen unterworfen sind: die letzten zwei Eigenschaften dagegen bilden die Qualitätsgrössen, welche unmessbar sind und den Qualitäts- oder Neigungsgesetzen gehorchen.

Wir haben stets hervorgehoben, dass jeder der fünf Nervenprozesse der äusseren Sinnesorgane auf die betreffende Grundform unserer Sinnlichkeit nicht ausschliesslich, sondern nur vornehmlich oder spezifisch wirkt. Wir fügen jetzt hinzu, dass der Prozess jedes äusseren Sinnesorgans vermöge der in ihm enthaltenen, weiter oben näher nachgewiesenen besonderen Beziehungen auf alle fünf Grundformen der Sinnlichkeit wirkt, dass also jeder Sinnesprozess einen Eindruck von Raum, Zeit, Kraft, Art und Charakter macht, wiewohl die Wirkung auf die einzelnen Formen der Sinnlichkeit weniger bestimmt und bedeutend ist, als auf die jenem Prozesse spezifisch entsprechende.

Zur näheren Erläuterung machen wir darauf aufmerksam, dass was zunächst den Raum betrifft, schon im früheren Verlaufe dieses Buches gezeigt ist, wie zwar das Auge uns am vollkommensten über die Räumlichkeit oder das Nebeneinandersein Zeugniss ablegt, wie aber in weniger vollkommenem Grade Dies auch durch das Ohr, die sensibelen Körpertheile, die Zunge und die Nase geschieht (§. 77 bis 80). Ebenso erkennt man leicht, dass die Zeit oder das Nacheinandersein zwar am deutlichsten durch die Gehöreindrücke, ausserdem aber auch durch die Veränderungen der Gesichts-, Gefühls-, Geschmacks- und Geruchseindrücke erkannt wird. Die Vorstellung von Kraft wird vornehmlich durch das Gefühl, daneben aber auch durch die Intensität des Lichtes im Auge, des Schalles im Ohre, der Affinität auf der Zunge und des Kosmetismus in der Nase gewonnen. Die Vorstellung von Stoff und allgemeiner von Art (Qualität) erhalten wir allerdings spezifisch durch den Geschmack; aber mit relativer Vollkommenheit auch durch die Farbe des optischen, durch den Ton des akustischen, durch die Art der Affektion des Gefühls- und des Geruchsobjektes. Endlich führt zur Vorstellung von Charakter zwar vornehmlich der Geruch; allein ausserdem auch der Glanz der optischen Objekte, der Klang der akustischen und der Charakter der Gefühls- und Geschmackseindrücke.

Die Thätigkeit des Sensoriums, welche eine Raumgrösse zum Bewusstsein bringt, wollen wir eine Vorstellung nennen, diejenige, welche eine Zeitgrösse zum Bewusstsein bringt, eine Erfahrung, diejenige, welche eine Kraftgrösse zum Bewusstsein bringt, einen Eindruck, diejenige, welche eine Qualitätsgrösse zum Bewusstsein bringt, eine Empfindung, und diejenige, welche eine Charaktergrösse zum Bewusstsein bringt, eine Erregung.

Hiernach und nach dem Vorstehenden verursacht uns jede Sinnesthätigkeit eine Vorstellung, eine Erfahrung, einen Eindruck, eine Empfindung und eine Erregung.

Dass trotz der Verschiedenartigkeit der Kräfte, welche auf uns wirken,

doch die allgemeine Form des Eindruckes dieselbe sein kann, dass also z. B. die Vorstellung des *reinen* oder *absoluten Raumes dieselbe* ist, gleichviel ob wir sie durch das Gesicht, oder das Gehör, oder das Gefühl, oder den Geschmack, oder den Geruch erhalten, ist bereits früher erörtert und überhaupt leicht zu begreifen. Denn die Grundform eines Systems hängt nicht von der Art, sondern von der *relativen Beziehung* der komponirenden Kräfte zueinander ab. So würde die Grundform eines Systems offenbar dieselbe bleiben, gleichviel ob man statt der Kräfte mechanische Zugkräfte oder Druckkräfte, oder magnetische Kräfte, oder Wärme- oder Lichtimpulse setzte. Es ist also klar, dass sowohl der Nervenprozess des einen wie der des anderen Sinnes einen Zustand unserer selbst erzeugt, dessen *Grundform* die *nämliche* ist, dass also das Wesen von Raum, Zeit, Kraft, Art und Charakter sowohl im Allgemeinen, wie in jedem speziellen Falle genau dasselbe ist, gleichviel ob wir zur Erkenntniss oder zur Empfindung desselben durch den einen oder den anderen Sinn gelangen.

Wenn aber auch die *Grundform* eines Seelenzustandes von der speziellen Sinnesthätigkeit unabhängig ist, so ist es doch nicht die spezielle *Art* desselben. In letzterer Hinsicht ist es z. B. offenbar nicht gleichgültig, ob ein System aus mechanischen oder kalorischen oder elektrischen Kräften zusammengesetzt ist. Demgemäss wird die Vorstellung eines Raumes, d. h. der konkrete Zustand unserer selbst, welcher der Vorstellung eines bestimmten Raumes entspricht, sich durch eine besondere Qualität auszeichnen, jenachdem diese Vorstellung durch den Seh-, oder Hör-, oder Gefühls-, oder Geschmacks-, oder Geruchsprozess bedingt ist. Die Räumlichkeit oder die Raumerfüllung eines Gegenstandes wird also einen anderen Eindruck auf uns machen, jenachdem dieser Gegenstand von uns gesehen, gehört, gefühlt, geschmeckt oder gerochen wird. Da wir überhaupt jeden Zustand unserer selbst als eine *Eigenschaft* des *äusseren Gegenstandes* ansprechen, durch dessen Wirkung er erzeugt ist, und demgemäss auch den *reinen* oder *absoluten* Raum, welcher das reine Verhältniss des *Nebeneinander* in unserem Seelenzustande ausdrückt, für eine *allgemeine Eigenschaft* der äusseren Dinge halten; so übertragen wir auch das in jeder Sinnesthätigkeit liegende *Besondere* unseres Zustandes als eine *besondere Eigenschaft* auf das äussere Objekt. Diese Besonderheit bildet das *Spezifische* der *einzelnen Sinneseindrücke*, also das Eigenthümliche der *Sichtbarkeit*, der *Hörbarkeit*, der *Fühlbarkeit*, der *Schmeckbarkeit* und der *Riechbarkeit*.

Die Sprache hat für diese verschiedenen Eigenschaften nicht immer besondere und treffende Ausdrücke gebildet; ausserdem hat die Abstrahirung reiner und allgemeiner Begriffe aus konkreten Erscheinungen oder die Abstreifung des Subjektiven vom Objektiven aus unseren Seeleneindrücken besondere Schwierigkeiten, weil uns *Alles objektiv*, Nichts subjektiv erscheint. Trotz der Gefahr ungenügender Schärfe und möglicher Irrthümer erlaube ich mir doch, im Nachfolgenden die spezielleren Eigenschaften der Dinge, welche auf den verschiedenen Sinneseindrücken beruhen, zusammenzustellen: denn wenn auch einzelne Punkte einer Berichtigung fähig sein sollten; so glaube ich doch, dass das *Verfahren* dasjenige ist, welches zur Erkenntniss der Eigenschaften des Geistes führt.

Betrachten wir also zunächst die Besonderheit, welche die Existenz im Raume zeigt, jenachdem die Dinge durch den einen oder den anderen Sinnesprozess zur Erscheinung gebracht werden. Das Gesicht zeigt uns diese Existenz als einen Zustand des Raumes und zwar speziell als eine Ausdehnung oder als einen Körper; das Gehör als eine Thätigkeit im Raume, welche sich speziell als Laut ankündigt; das Gefühl als eine Erfüllung (Abschliessung, Absperrung) des Raumes oder speziell als Materie (raumversperrende Substanz); der Geschmack als eine Qualifizirung des Raumes oder als Stoff; der Geruch als eine Durchdringung des Raumes oder als immaterielle (ätherische) Substanz, d. h. das gesehene Objekt erscheint uns in Beziehung auf seine Räumlichkeit als Körper, das gehörte als Laut, das gefühlte als Materie, das geschmeckte als Stoff, das gerochene als immaterielle (ätherische) Substanz.

Das Sein in der Zeit erscheint uns vermöge des Gesichtes als Bewegung, vermöge des Gehöres als Folge, vermöge des Gefühles als Arbeit oder Wirkung, d. h. Thätigkeit von Kräften, vermöge des Geschmackes als Verwandlung, vermöge des Geruches als Wechsel.

Das Wesen der Kraft zeigt sich uns durch das Gesicht als Licht, durch das Gehör als Schall, durch das Gefühl als Gefühlseindruck, durch den Geschmack als Geschmakseindruck, durch den Geruch als Geruchseindruck.

Das Wesen der Art zeigt sich durch das Gesicht als Farbe, durch das Gehör als Ton, durch das Gefühl als Gefühlsart oder dynamische Qualität, wie Druck, Wärme, Schmerz u. s. w., durch den Geschmack als Geschmack, d. h. Geschmack des Objektes oder chemische Qualität, wie Säure, Salzigkeit, Süssigkeit u. s. w., durch den Geruch als Geruch, d. h. Geruch des Objektes oder kosmetische Qualität, wie erdiger, vegetabilischer, animalischer Geruch u. s. w.

Das Wesen des Charakters zeigt sich durch das Gesicht als Glanz, durch das Gehör als Klang, durch das Gefühl als dynamischer Charakter wie Schwere, Härte, Glätte, spezifische Wärme, Nässe, Trockenheit u. s. w., durch den Geschmack als chemischer Charakter, wie Herbheit, Wohlgeschmack, Pikantheit u. s. w., durch den Geruch als kosmetischer Charakter wie Aufregung, Betäubung, Wohlgeruch, Gestank u. s. w.

Die unmittelbare Wirkung eines Gegenstandes auf uns ist nach Vorstehendem immer eine Sinneswahrnehmung. Die Grundlage dieser Wahrnehmung ist ein materieller Prozess, der physiologische Nervenprozess, welcher durch die Kräfte des Gegenstandes in dem betreffenden Sinnesorgane erzeugt und nach dem Gehirne fortgepflanzt wird. Durch diesen Prozess wird unser Organismus in einen gewissen Zustand versetzt und dieser Zustand unserer selbst bildet die entsprechende Sinneserscheinung.

Die Sinnesthätigkeit entspringt aus der direkten Wechselwirkung zwischen dem Geiste und der Aussenwelt. Diese Thätigkeit bildet also eine Zusammenwirkung eigener und fremder Kräfte oder eine Verschmelzung beider in der Weise, dass der Organismus unter dem Angriffe der Aussenwelt, also in der Konkurrenz seiner eigenen Kräfte mit denen der Aussenwelt einen gewissen Zustand annimmt, welchen wir den Sinnes-

ıdruck oder die Erscheinung des angreifenden äusseren Objektes ınen. Die Sinne geben uns Zeugniss von der Wirklichkeit ausser s oder allgemeiner, sie verschaffen uns die Überzeugung von dem Vorıdensein einer Thatsache, eines Faktums.

5. Die reine Geistesthätigkeit. — Die höheren Seelenvermön. Der Organismus ist aber auch einer eigenen von den physischen ozessen der Aussenwelt unabhängigen Thätigkeit fähig. An dem Geostande dieser reinen oder höheren Geistesthätigkeit unterscheiden r ebenso wie an dem Objekte eines Sinneseindruckes mehrere Hauptgenschaften, und jenachdem die eine oder die andere Eigenschaft vorrrscht oder als die ausschliessliche erscheint, betrachten wir wohl die treffende Thätigkeit als die Äusserung eines besonderen Seelenverögens. Die beiden wichtigsten und hervorstechendsten Eigenschaf- ı der Geistesthätigkeit sind der Begriff und die Empfindung ffekt); die hierauf bezüglichen Thätigkeiten heissen denken und eminden und die Vermögen, welchen wir diese Thätigkeiten zuschreiben, rstand und Gemüth.

Um das Wesen der Verstandes- und Gemüthsthätigkeit näher zu iniren; so stellen wir zunächst fest, dass die eine wie die andere in einer wissen Veränderung der Zustände unserer selbst oder unseres istes beruht, dergestalt, dass z. B. ein bestimmter Begriff oder ein bemmter Affekt gleichbedeutend ist mit einem bestimmten Zustande uner selbst.

Die Hauptunterschiede zwischen denken und empfinden finde ich Folgendem. Das Denken ist diejenige Thätigkeit, in welcher sich s Wesen des Geistes am reinsten oder unabhängigsten ausprägt; mgemäss ist mit den Resultaten dieser Thätigkeit der höchste Grad s Bewusstseins des besonderen Zustandes unserer selbst verbunı, ein Bewusstsein, welches wir Erkenntniss des Gedachten ınen, indem wir auch hier die subjektive Thätigkeit als etwas Obtives auffassen. Verstandeserkenntniss unterscheidet sich von Sinneshrnehmung sehr wesentlich dadurch, dass durch jene nicht wie rch diese eine Thatsache oder ein wirkliches Sein, sondern ein thwendiges oder apodiktisches Sein konstatirt wird. Demzufolge die reine Form der Verstandesthätigkeit das Gesetz, worunter wir r die mit Nothwendigkeit sich ergebende Beziehung, z. B. eine che, welche aussagt, dass zweimal zwei vier ist, verstehen. Durch ein ches Gesetz wird immer nur Gleichartiges verbunden; die Beziehunn ungleichartiger Dinge sind niemals apodiktische Gesetze: da nun ichartige Dinge das gemeinschaftliche Merkmal der Quantität haben d im mathematischen Sinne des Wortes Grössen sind; so kann man ch sagen, dass die Verstandesgesetze die Quantitäts- oder die ıthematischen Gesetze seien. Durch ein Gesetz wird immer Zustand mit einem anderen Zustande durch Messung verglichen: die kenntniss betrifft aber nicht den Akt der Vergleichung, sondern s Resultat der Vergleichung: demgemäss erkennen wir durch den rstand nicht das Werden, sondern das Sein. Hieraus wird klar, dass sere Begriffe diskrete Zustände unserer selbst sind, dass wir uns

von der Stetigkeit und von der Unendlichkeit keinen Begriff bilden können, obgleich diese Eigenschaften doch in Wirklichkeit existiren, das wir überhaupt das Entstehen, das Werden, die Entwicklung, die Bewegung nicht denken (in festen und vollständigen Begriffen erkennen) können, dass die Zahlen, welche die reinen Begriffe der Grössen sind, eine diskrete Reihe bilden, während die wirklichen Grössen sämmtlich stetig sind.

Da die Grössen des Raumes die allgemeinen Merkmale der Grössen an sich tragen; so leuchtet ein, dass die Verstandesgesetze im Wesentlichen als Abstraktionen geometrischer Gesetze erscheinen und dass von allen Sinnen das Gesicht, welches vornehmlich die Erscheinungen des Raumes auffasst, mit dem Verstande in der nächsten Beziehung steht. In der Zahl denken wir die Grösse, welche wir als Linie oder Fläche oder überhaupt als Raumgrösse sinnlich anschauen: Arithmetik ist die auf Begriffe gebrachte Geometrie, wie ich im „Situationskalkul" näher ausgeführt habe.

Allgemein kann man nach Vorstehendem sagen, das Geschäft des Verstandes bestehe in der Erkenntniss der gesetzlichen Beziehungen des Seins. Hiernach wird Alles, worin sich die gesetzliche Beziehung der Theile zum Ganzen oder das Wesen einer räumlichen Form ausprägt, ein geeigneter Gegenstand für die Verstandesthätigkeit sein, es wird also z. B. beim Sehen vornehmlich die Gestalt der Objekte (nicht die Farbe), beim Hören dagegen der auf Klangfiguren berufende Laut (nicht der Ton) den Verstand beschäftigen.

Übrigens vermag ich neben dem Verstande keinem zweiten intellektuellen Vermögen unter dem Namen der Vernunft eine Berechtigung als Grundeigenschaft des Geistes einzuräumen. Das Geschäft, die Grundlagen des logischen Denkens, also die Verstandesmittel zu prüfen, welches Kant der Vernunft zuweis't, ist meines Erachtens eine Funktion, welche der Verstand in Verbindung mit den übrigen, weiter unten zu besprechenden Seelenvermögen, insbesondere der Phantasie selbst ausführt, welche also kein neues Grundvermögen, sondern nur eine gemeinschaftliche Thätigkeit unserer Grundvermögen anzeigt.

Was nun das Gemüth betrifft; so sind dessen Empfindungen oder Affekte nicht durch Grössen (Quantitäten) und Formen (gesetzliche Beziehungen), sondern durch Arten oder Qualitäten bestimmt. Verschiedene Qualitäten wirken aufeinander nicht durch apodiktische Gesetze, sondern durch die Beziehungen des Ungleichartigen, welche wir schon früher (§. 2 und 73) Neigungen genannt haben. Die Thätigkeiten des Gemüthes oder die Gemüthsbewegungen beruhen daher auf Neigungen. Da diese Beziehungen zwischen ungleichartigen Dingen schlechterdings kein Gegenstand des Verstandes sind; so folgt auch, dass die Regungen des Gemüthes durchaus keinen Verstandesgesetzen folgen, dass sie gar keinen Gegenstand des Denkens ausmachen oder nicht intelligibel sind. Was gut und schlecht sei, kann niemals durch den Verstand, sondern nur durch das Gemüth festgestellt werden; der Verstand sagt uns dagegen was wahr und falsch sei, und hierüber hat das Gemüth kein Urtheil, weil urtheilen und schliessen überhaupt kein Geschäft des Gemüthes ist.

Es ist überflüssig zu bemerken, dass sich die verschiedenen Arten

es Gefühles in Empfindungen, wie Liebe, Freundschaft, Trauer, Wehmuth, urcht, Hoffnung, Wuth, Freude, Ernst u. dergl. aussprechen.

Wenn wir die beiden vorstehend betrachteten Effekte der reinen eelenthätigkeit mit denen der Sinnesthätigkeit vergleichen; so finden wir lgende Parallele. Die oberste Eigenschaft eines Seeleneindruckes ist die rkenntniss (Begriff); ihr steht in der sinnlichen Wahrnehmung als nalogie die Vorstellung gegenüber. Die Erkenntniss ist den reinen erstandesgesetzen, den apodiktischen Gesetzen des Gleichartigen, den uantitätsgesetzen unterworfen. Eine zweite Eigenschaft eines Seelen-ndruckes ist das Gefühl oder die Empfindung, welche zur Unter-heidung von dem sinnlichen Gefühle und der Sinnesempfindung das oralische Gefühl oder die moralische Empfindung oder auch eine emüthsbewegung, eine Affekt heissen mag; diese Gemüthsbewegung ist alog der Empfindung der Sinne, z. B. der Empfindung einer Farbe urch das Gesicht, eines Tones durch das Gehör u. s. w. Die Gemüths-ewegung ist den Prinzipien der Neigung, den Beziehungen des Un-eichartigen, den Qualitätsgesetzen unterworfen.

Die sinnliche Vorstellung betrifft unmittelbar die räumlichen Be-ehungen eines Objektes: die Erkenntniss dagegen bezieht sich auf nen Zustand oder ein Sein. Das Sein ist daher in der reinen Seelen-ätigkeit das Analogon des Raumes in der Sinnesthätigkeit. Die sinn-he Empfindung betrifft unmittelbar die Qualität des Objektes, seine arbe, seinen Ton, seinen Geschmack u. s. w.; ebenso unterscheiden sich e verschiedenen Gemüthsregungen nur qualitativ; es ist also das esen der Art oder der Qualität, auf welches die moralischen Gefühle gründet sind.

Es fragt sich jetzt, welche Rolle bei der reinen Seelenthätig-it die Zeit spiele. Ich bin der Ansicht keine. Zeit ist wie Raum r ein Gegenstand der Sinnlichkeit, durchaus nicht ein Gegen-nd der reinen Geistesthätigkeit. Allerdings vollziehen sich unsere Ge-nken und Empfindungen in der Zeit: Diess ist aber für das Wesen rselben irrelevant. Die Zeitlichkeit ist ebenso wenig eine Eigenschaft ner Seelenthätigkeiten, wie die Räumlichkeit, obgleich man doch mit mselben Rechte sagen kann, dass jene Thätigkeiten im Raume vor sich hen. Von der Zeit erhalten wir nur ein Zeugniss durch die Sinne, nicht rch die reine Geistesthätigkeit, und ich glaube, dass Kant sich irrt, dem er der Zeit eine höhere Bedeutung als dem Raume zuschreibt und die Form des inneren Sinnes, d. h. desjenigen Sinnes, mit welchem r uns selbst anschauen, den Raum dagegen die Form des sseren Sinnes, d. h. desjenigen Sinnes, mit welchem wir die Aussen-elt anschauen, nennt. Die Täuschung entspringt meines Erachtens dar-s, dass bei vielen, ja den meisten Thätigkeiten des Menschen nicht bloss s reine oder höhere Seelenvermögen, sondern auch die Sinnlichkeit in nktion ist und alsdann die Effekte des Einen leicht als Effekte des An-ren angesehen werden. So verknüpft sich mit dem Denken jede Sinnes-ätigkeit; ich kann an und über sichtbare Gegenstände denken, ich kann er eine Rede und über eine Melodie reflektiren: in diesen Fällen ist o mit dem Verstande zugleich das Sensorium bald als Gesicht, bald als hör, bald als Beides zugleich thätig. Obgleich sich nun die meisten

Gedanken mit räumlichen Dingen beschäftigen, so wäre es doch irrig, den Raum als eine Form der Verstandesthätigkeit anzusehen.

Ebenso verhält es sich mit der Zeit. Indem wir mit dem Auge oder Ohre beobachten, verfliesst die Zeit und das Sensorium giebt uns von diesem Verlaufe Rechenschaft. Beobachten wir nun mit dem Verstande, d. h. machen wir irgend Etwas, was in Beziehung zum reinen Verstande als etwas Äusseres erscheint, zum Gegenstande unseres Nachdenkens, mag Diess nun ein Objekt der äusseren Natur oder ein Zustand unserer selbst sein (denn für den Verstand ist Alles etwas Äusseres, was nicht in dem momentanen Zustande seiner selbst liegt); so ist schon bei dieser Gesammtthätigkeit die Sinnlichkeit betheiligt, weil diese Thätigkeit keine reine Verstandesthätigkeit, kein reines Erkennen und Urtheilen, sondern ein Beobachten, eine auf ein Objekt gerichtete Thätigkeit ist. Wenn uns daher bei der Beobachtung unserer selbst das Bewusstsein vom Verfliessen der Zeit kömmt; so ist damit keineswegs gesagt, dass dieses Bewusstsein aus der reinen Geistesthätigkeit fliesse.

Für diese reine oder höhere Geistesthätigkeit ist hiernach Raum und Zeit ohne Bedeutung: Beides sind nur Formen der Sinnlichkeit, erlangen mithin ihre Bedeutung nur durch Zusammenwirkung des Geistes mit der Wirklichkeit.

Übrigens besitzt der reine oder absolute Geist in seiner selbstständigen oder höheren Thätigkeit eine subjektive Form, welche dem Raume im Bereiche der Sinnlichkeit äquivalent ist. Diese Form ist, wie schon erwähnt, das Sein. Mir däucht, dass eben aus dieser Grundform des Seins die Vorstellung des Raumes bei der Wechselwirkung des Geistes mit der Aussenwelt entspringe. Ebenso entspricht der sinnlichen Zeit als reine Form des absoluten Geistes das Werden oder die Entwicklung, d. h. die Veränderung nach Gesetzen. Es ist klar, dass für eine Entwicklung in ihrer absoluten und allgemeinen Bedeutung die Zeit ebenso bedeutungslos ist, als für ein Sein der Raum. Denn die Entwicklung, das Werden, bezieht sich nur auf das Entstehen des Einen aus dem Anderen vermöge gewisser Gesetze, wobei die Zeit nicht nothwendig in Betracht kömmt. Ein mathematischer Lehrsatz drückt eine gesetzliche Beziehung zwischen gewissen Dingen aus, bezieht sich also schlechthin auf ein Sein, wobei der Raum nicht nothwendig betheiligt ist. Der mathematische Beweis dieses Satzes stellt eine Entwicklung, ein Werden nach Gesetzen dar, wobei die über der Beweisführung verfliessende Zeit ganz bedeutungslos ist, oder die Geschwindigkeit des Werdens keine Rolle spielt. Eine Linie ist eine fertige Raumfigur, ein räumliches Sein, ein Nebeneinandersein nach einem bestimmten Gesetze: die Entstehung dieser Linie durch Beschreibung oder durch Bewegung eines Punktes ist aber ein Werden nach einem bestimmten Gesetz, wobei jedoch die Zeit ganz unwesentlich ist. Ebenso ist die Beziehung zwischen Ursache und Wirkung eine gesetzliche Veränderung, bei welcher das Zeitliche keine Bedeutung hat.

Man kann sagen, der Raum sei das sinnliche Nebeneinander, das Sein dagegen das logische Miteinander, ferner die Zeit sei das sinnliche Nacheinander, das Werden dagegen das gesetzliche Auseinander.

Das Sein wird erkannt oder gedacht und das Vermögen, welches urch Begriffe uns diese Erkenntniss giebt, ist der Verstand. Das 'erden, die Entwicklung wird nicht erkannt oder gedacht, sondern ollführt durch eine Thätigkeit, welche wir schaffen nennen: das ermögen, welches diese Funktion verrichtet, nenne ich Phantasie. Die hantasie schafft also, und ihre Schöpfungen wollen wir hinsichtlich der bjektiven Form des dabei in Betracht kommenden Seelenvermögens leen nennen. In objektiver Beziehung erscheinen die Erzeugnisse er Phantasie als Handlungen oder Entwicklungen.

Es ist hiernach klar, dass das Hauptgeschäft der Phantasie darin esteht, eine Seelenthätigkeit gesetzlich zu leiten oder zu entickeln: es ist also darunter das Vermögen der Produktion (und lbstverständlich das der Reproduktion oder das Gedächtniss) beriffen, überhaupt haben wir es mit der Fähigkeit zu thun, die Seelenustände in Beziehung auf alle ihre Eigenschaften aus eigenem ntriebe gesetzlich zu verändern.

Da die Phantasie die Gesetze des Werdens faktisch ausübt; so uss sie in Verbindung mit dem Verstande, welcher das Sein, also die ewordenen Zustände, nicht aber das Werden selbst erkennt oder egreift, Resultate liefern, welche der reine Verstand nicht darzustellen ermag. In der That bildet der reine Verstand nur analytische rtheile, welche (nach Kant) Erklärungen eines aufgestellten Begriffes arstellen. Von dieser Beschaffenheit sind alle mathematischen Urtheile nd allgemein alle Resultate der reinen Quantitätsgesetze: jedes athematische Gesetz folgt nach reinen oder logischen Verstandesgesetzen as den Prämissen. Die Phantasie oder das Vermögen des Schaffens er Werdens dagegen bildet in Verbindung mit dem Verstande nthetische Urtheile, welche, weil es sich beim Werden nicht um die erknüpfung gleichartiger, sondern ungleichartiger Dinge handelt, cht absolut selbstverständlich sind, aber doch desshalb für Grundtze des Denkens anerkannt werden, weil, indem unser Geist die Gesetze es Werdens bei der Veränderung seiner eigenen Zustände durch die hantasie wirklich befolgt, sich uns die Überzeugung von der faktischen ichtigkeit dieser Gesetze aufdringt. So entspringt z. B. der Grundsatz, ss Alles, was geschieht, eine Ursache habe oder dass jede Veränerung auf einer Ursache beruhe, ein Grundsatz, welcher den Ausgangsunkt der Mechanik bildet und in der Form, dass jede Entwicklung urch Kräfte bewirkt werde, für die ganze Naturwissenschaft wichtig ;, aus der Erkenntniss der Gesetze des Werdens oder aus der Zusamenwirkung der Phantasie mit dem Verstande.

Die Ausführung jedes Denkprozesses, weil dieselbe eine Enticklung, ein Werden darstellt, erfordert die Thätigkeit der Phansie und ein Jeder wird es bald bestätigt finden, dass dieser Prozess er das Denken nicht ausschliesslich vom Verstande vollführt werden nn. Mit Hülfe des Verstandes haben wir von jedem im Denkprozesse rkommenden Gedanken eine Erkenntniss oder sind uns desselben beusst; über die Assoziation, die Entwicklung, die Bewegung der edanken vermögen wir uns jedoch keine Rechenschaft zu geben, da sie sserhalb des Gebietes des Vermögens der Erkenntniss liegt.

Aus den bisherigen Betrachtungen geht nun hervor, dass jeder Seelenzustand folgende Haupteigenschaften hat. Die erste ist Erkenntniss; sie bezieht sich auf ein Sein und wird vom Verstande aufgefasst. Die zweite ist Schöpfung oder gesetzliche Entwicklung des Denkprozesses, es ist die Ideen- oder Gedankenbewegung; sie bezieht sich auf ein Werden und wird von der Phantasie ausgeführt, welche, indem sie den Denkprozess leitet, zu den einzelnen, diskreten Zuständen führt, die der Verstand erkennt. Die dritte Eigenschaft ist die Empfindung, welche auf der Qualität des Zustandes beruht und das Gemüth beschäftigt.

Ausser den vorstehenden kommen aber jedem Seeleneindrucke noch zwei andere Eigenschaften zu: die Stärke oder Intensität oder der Grad und alsdann der Charakter oder der Ausdruck oder die Weise des Eindruckes. Diese beiden Eigenschaften sind den gleichnamigen Eigenschaften der Sinneseindrücke analog. Die Stärke einer Seelenthätigkeit ist ähnlich der Intensität einer Farbe, eines Tones, eines Geschmackes. Der Charakter einer solchen Thätigkeit spricht sich wie der Glanz einer Farbe oder wie der Klang eines Tones in den mannichfaltigen Modalitäten aus, welche einunddasselbe Gefühl, z. B. die Freude, der Muth, der Schmerz, je nach der Individualität und den Umständen annehmen kann.

Man ist nicht gewohnt, die Empfindung der Stärke des Seeleneindruckes als das Geschäft eines besonderen Vermögens anzusehen. Die Konsequenz der Anschauung nöthigt jedoch hierzu und ich bin geneigt, den Willen als dasjenige Vermögen zu betrachten, welchem die Messung jener Stärke als eine besondere Funktion zugewiesen ist. Hierzu veranlassen mich folgende Erwägungen. Durch den Willen sind wir im Stande, die Intensität jeder Geistesthätigkeit, sowohl eines Denkprozesses, wie einer Gemüthsbewegung, mehr oder weniger zu steigern und zu schwächen. Auf die Art dieser Thätigkeit hat der Wille jedoch keinen direkten Einfluss: wir vermögen nicht unmittelbar kraft unseres Willens Freude in Schmerz zu verwandeln. Der Einfluss des Willens auf die Intensität einer Gemüthsbewegung ist nun zwar ein beschränkter und entspricht auch nicht dem normalen Vorgange: allein immerhin geht aus jenem Einflusse hervor, dass zwischen dem Willen und der Intensität einer Geistesthätigkeit eine nahe Beziehung besteht.

Hierzu kömmt noch, dass der Wille auch mit dem Gefühlssinne, welcher uns nach dem Früheren vorzugsweise das Wesen von Kraft kennen lehrt, in einer direkten Verbindung steht. Denn die Wirkung und Gegenwirkung zwischen einem äusseren mechanischen Objekte und unserem Körper sind, weil zwischen Beiden Gleichgewicht besteht, einander vollkommen gleich: der Druck jenes Objektes auf unseren Körper und auch das Gefühl davon hat also dieselbe Intensität, gleichviel ob das Objekt drückt und unser Körper widersteht, oder ob unser Körper drückt und das Objekt widersteht, d. h. gleichviel wer von Beiden aktiv und wer passiv ist. Die Herstellung des Gleichgewichtes erfordert nämlich immer Aktivität unseres Körpers, also eine bestimmte Willensäusserung. Das Gefühl von mechanischem Drucke und die Willensthätigkeit gehen daher in Hinsicht auf Intensität immer Hand in Hand oder bedingen sich unter normalen Verhältnissen einander. Hieraus mag denn auch

er abnorme Einfluss entspringen, den der Wille über die Intensität des örperlichen Schmerzes auszuüben fähig ist.

Wir denken uns nun den Vorgang so, dass wenn ein Seeleneindruck folgt, der Organismus also in einen gewissen Zustand versetzt wird, der ille es ist, welcher in diesem Zustande das Gleichgewicht der rgane herstellt, also eine der Intensität des Eindruckes proportionle Anstrengung macht. Zu einer Kraftäusserung dieser Art wird der ille durch eine von den übrigen Seelenthätigkeiten ausgehende und in r Organisation des Körpers liegende Veranlassung unbewusst, unillkürlich oder induktorisch genöthigt. Ohne eine derartige Verlassung ist der Wille frei, also zu unabhängigen Funktionen behigt. Wenngleich derselbe nun ausser Stande ist, jede beliebige Seelenätigkeit (z. B. eine Gemüthsbewegung) nach Selbstbestimmung zu zeugen; so erklärt es sich bei der vorstehend angenommenen induktoschen Beziehung, in welcher er zu diesen Thätigkeiten steht, doch, dass fähig ist, eine solche Thätigkeit, z. B. eine Freude, eine Wehmuth, nen Schmerz durch freie Einwirkung in ihrer Intensität zu erhöhen ler zu beschränken.

Was jetzt den Charakter, den Ausdruck oder die Weise betrifft, welcher sich ein Seeleneindruck äussert; so wird diese Eigenschaft urch ein Vermögen bestimmt, welches wir als ästhetisches Vermögen chönheitssinn) bezeichnen wollen. Wir verstehen darunter allgemein die ihigkeit, auf den Charakter einer Seelenthätigkeit zu reagiren und nnen dieselbe desshalb ästhetisches Vermögen, weil das Wesen des iarakters einer Erscheinung sich durch die spezifische Anordnung r Theile zu einem Ganzen, oder durch die in der Form liegenn Verhältnisse ausspricht.

Nach Vorstehendem zeigen die reinen Seeleneindrücke ebenso viel upteigenschaften, als die Eindrücke jedes einzelnen Sinnes, nämlich nf: den Verstand, dessen Ziel das Wahre, die Phantasie, deren Ziel el das Neue (Geniale), den Willen, dessen Ziel das Starke (Tüchtige), s Gemüth, dessen Ziel das Gute, das ästhetische Vermögen, dessen el das Schöne ist. Diese Eigenschaften sind den sinnenfälligen Eigenschaf- analog. Die Anzahl der Sinne beläuft sich ebenfalls auf fünf, indem ler Sinn vornehmlich und spezifisch, jedoch nicht ausschliessch auf eine dieser fünf Haupteigenschaften der äusseren Gegenstände agirt. Im Allgemeinen reagirt jeder Sinn auf jede der fünf Haupteigenaften der Objekte. Eine Haupteigenschaft der Objekte, z. B. die umliche Form, kann also auf fünf verschiedenen Sinneswegen (durch s Gesicht, das Gehör, das Gefühl, den Geschmack und den Geruch) zum wusstsein gelangen. Demgemäss nehmen wir an, dass im Sensorium ie solche Verbindung der einzelnen Sinne stattfindet, dass der Prozess, lcher durch einunddieselbe Haupteigenschaft der Objekte bedingt ist, B. der Prozess der Form, gleichviel ob dieser Prozess durch das Auge er durch das Ohr oder ein anderes Sinnesorgan in das Sensorium gehrt ist, auf demselben Wege in die Zentralorgane der höheren Seeivermögen eindringt.

Ob nun das Zentralorgan, in welchem sich der mit einer reinen Seelenätigkeit verbundene materielle Prozess vollzieht, in fünf selbst-

ständige Organe gegliedert ist, sodass das Bewusstsein des betreffenden Seeleneindruckes an die spezifische Thätigkeit eines speziellen Zentralorgans geknüpft ist, oder ob alle diese Prozesse in einem einzigen Zentralorgane, dem grossen Gehirne, vor sich gehen, kann nach der jetzigen Kenntniss des Gehirnes und seiner Funktionen ebenso wenig ausgemacht werden, wie die Frage, ob für jeden Sinn ein besonderes Organ im Sensorium vorhanden sei.

Schliesslich hebe ich noch hervor, dass man nach der bisherigen Auffassung dem Streben der Menschheit drei Zielpunkte oder Ideale zuerkennt: das Wahre, das Gute und das Schöne. Nach dem Obigen giebt es aber fünf Ideale: das Wahre, welches die Wissenschaft sucht; das Neue oder Geniale, Schöpferische, in gewisser Hinsicht das Hohe und Grosse, welches wir durch Beschäftigung unserer Phantasie, im Allgemeinen also durch Entwicklung unserer Fähigkeiten, d. h. durch Veredelung, Bildung oder Kultur erwerben; das Starke oder Tüchtige, Bedeutende, Charaktervolle, Rechte, zu welchem wir uns durch Handlung, Arbeit befähigen und welches sich im Charakter des Menschen und in seiner Thatkraft ausspricht; das Gute und in gewisser Hinsicht das Edele, welches wir in der Tugend üben; das Schöne, welches die Kunst erstrebt.

6. Die instinktive Thätigkeit. Ausser der in No. 5 betrachteten reinen Geistesthätigkeit, welche auf Freiheit beruht (No. 7), und der in No. 4 betrachteten sensuellen Thätigkeit, welche auf der Zusammenwirkung des Geistes mit der Aussenwelt oder mit den anorganischen Kräften beruht, wird sich diejenige Thätigkeit, welche aus der Zusammenwirkung des Geistes mit den organischen Prozessen des eigenen Leibes entspringt, durch besondere Eigenthümlichkeiten auszeichnen. Wir belegen die letztere mit dem Namen der instinktiven Thätigkeit und wollen versuchen, dieselbe nachstehend etwas näher zu spezialisiren.

Die formbildende oder organisirende Thätigkeit, welche den materiellen Körper nach einem in der Art des Individuums liegenden Plane bildet, umbildet (z. B. in der Krankheit, §. 74) und der Aussenwelt anpasst, ist die eigentliche Vitalität, d. h. die vom Geiste beherrschte Vegetation. Wir zählen diese Thätigkeit, da sie unmittelbar nur materielle Effekte hat, nicht zu den instinktiven Thätigkeiten, wohl aber dienigen Funktionen, welche sich aus der Einwirkung jener Vitalitätsthätigkeit auf den Geist ergeben. Diess sind im Wesentlichen die folgenden.

Erstens, der eigentliche Instinkt, worunter wir die unbewusste Erkenntniss und Ausübung alles Dessen verstehen, was für das Wohlsein des Individuums nach der ihm innewohnenden Art zweckdienlich ist. Diese Fähigkeit kömmt dem Menschen, wie jedem Thiere zu, tritt aber bei dem Menschen gegen den Verstand in den Hintergrund, während sie bei den Thieren umso mehr vorwaltet, je schwächer der Verstand ist. Sie unterscheidet sich vom Verstande wesentlich durch den Mangel an Selbstbestimmung, da sie das Resultat einer von der Vitalität ausgehenden Erregung des Geistes ist.

Zweitens, die unwillkürliche Produktion von Sinnes- und

uch höheren Geistesthätigkeiten, also die unwillkürliche Erschei- ıng von Gesichtsvorstellungen, Gehörs- und Gefühlseindrücken, Ge- hmacks- und Geruchsempfindungen, von Gedanken und Empfindungen. iese Eigenschaft läuft der Phantasie parallel, unterscheidet sich aber adurch von ihr, dass sie nicht das Resultat der Selbstbestimmung es Geistes, sondern die Folge des Angriffes eines Vitalitätspro- esses auf das Gehirn ist. Demgemäss spielt die letztere instinktive roduktionskraft eine Hauptrolle im Traume, wo keine Selbstbe- immung stattfindet, also Verstand, Phantasie (auch Gedächtniss), Wille, emüth und ästhetisches Vermögen unthätig sind, vielmehr die Geistes- ıätigkeit durch die vitale Thätigkeit des Körpers vermöge der Erregung es Gehirnes durch organische Lebensprozesse erweckt wird. Nennen ir dieses Vermögen kurz das Visionsvermögen.

Drittens, die unwillkürlichen Bewegungen des Herzens, der dern, der Lunge, der Eingeweide u. s. w., welche lediglich aus Anrei- ıngen der Vitalität entspringen. Auch die Fähigkeit, mechanische Bewe- ıngen und Thätigkeiten, welche der Wille beabsichtigt, zweckmäs- g auszuführen, dürfte hierher gehören, und allgemein kann man das gentliche Bewegungsvermögen hierher rechnen, welches auf den unktionen des motorischen Apparates beruht.

Viertens, die Triebe, welche man auch wohl sinnliche Triebe nnt und worunter ich die unbewussten und auf keiner äusseren Veran- ssung beruhenden, sondern durch die Vitalitätsprozesse induzirten Nei- ıngen und Empfindungen, z. B. den Geschlechtstrieb, den Hunger ıd Durst, das Bedürfniss nach Luft, die wechselnde Neigung zu körper- her und zu geistiger Arbeit, auch die Müdigkeit, die Übelkeit und den kel u. s. w. verstehe.

Fünftens, das Temperament oder die jedem Individuum eigenthüm- he Art und Weise, in welcher dasselbe unbewusst und unwillkürlich ine verschiedenen Thätigkeiten ausübt, also die Art und Weise, wie das dividuum die durch objektive Veranlassung bedingten Gedanken und npfindungen unbewusst und unwiderstehlich äussert, sodass dasselbe h als sanguinisch, cholerisch, pflegmatisch, als ernst, gemüthlich, leicht- ınig, schwerfällig, liebenswürdig u. s. w. darstellt.

Der Übersichtlichkeit wegen bilden wir aus den Hauptbegriffen der sherigen Untersuchungen über die geistigen Thätigkeiten eine kurze Zu- mmenstellung, welche ohne weitere Erläuterung verständlich sein wird.

I. Sinnes-

Motor, die

Sinnesthätigkeit	Äusseres Objekt	Äusserer Motor	Subjektive Form des Sinnesvermögens	Beziehung, welche in dieser Form liegt	Allgemeine Eigenschaft des Objektes
Sehen	Körper	Elastizität des Äthers	Raum	neben-einander	Quantität (Vielheitsgrösse)
Hören	Laut	Elastizität des Ponderabelen	Zeit	nach-einander	Distensität (Zeitgrösse)
Fühlen	Materie	Gravitation (Kohäsion, Widerstand)	Kraft	ineinander	Intensität (Kraftgrösse)
Schmecken	Stoff	Affinität	Art (System)	durch-einander	Qualität (Artgrösse)
Riechen	Äther (Imponderabeles)	Kosmetismus	Charakter	für-einander	Modalität (Charaktergrösse)

…ätigkeit.

…ssenwelt.

…zielle …schaft …les …ektes	Gegenstand des Gesichtes	Gegenstand des Gehöres	Gegenstand des Gefühles	Gegenstand des Geschmackes	Gegenstand des Geruches
…össe	Körper	Laut	Materie	Stoff	Äther (Imponderabeles)
…uer	Bewegung (Ortsveränderung)	Folge (Zeitveränderung)	Arbeit (Kraftveränderung)	Verwandlung (Artveränderung)	Wechsel (Charakterveränderung)
…rad	Licht	Schall	Gefühlseindruk	Geschmackseindruck	Geruchseindruck
…artig-…eit	Farbe	Ton	Gefühlsart, Dynamische Qualität, wie Druck, Wärme, Schmerz etc.	Geschmack, Chemische Qualität, wie Säure, Salzigkeit, Süssigkeit, Bitterkeit etc.	Geruch, Kosmetische Qualität, wie erdiger, vegetabilischer, animalischer Geruch etc.
…druck …eise)	Glanz	Klang	Dynamischer Charakter, wie Schwere, Härte, Glätte, spezifische Wärme, Nässe, Trokenheit etc.	Chemischer Charakter, wie Herbheit, Wohlgeschmack, Pikantheit etc.	Kosmetischer Charakter, wie Aufregung, Betäubung, Wohlgeruch, Duft, Gestank etc.

II. Reine Seelenthätigkeit. Motor, der Geist.					III. Instinktive Thätigkeit. Motor, die Vitalität.
Seelenvermögen	Gegenstand der Seelenthätigkeit	Seelenthätigkeit	Subjektive Form des Seelenvermögens	Ziel der Seelenthätigkeit	Vermögen
Verstand	Erkenntniss (Begriff)	erkennen (denken)	Sein (Zustand)	das Wahre	Instinkt
Phantasie	Idee (Gedanke)	schaffen (entwickeln)	Werden (Entwicklung)	das Neue (Geniale)	Visionsvermögen
Wille	That	handeln (arbeiten)	Wirkung	das Starke (Tüchtige)	Bewegungsvermögen
Gemüth	Empfindung, Gefühl (Affekt)	empfinden	Neigung	das Gute	Triebe
Ästhetisches Vermögen	Erregung (Stimmung)	gefallen	Reiz	das Schöne	Temperament

7. Freiheit. Wenn sich die Masse A der Masse B gegenüber efindet; so wird sie vermöge des Gravitationsgesetzes zu einer anz bestimmten, von nichts Anderem abhängigen Thätigkeit genöthigt: enn wenn auch gleichzeitig noch eine dritte Masse C ihren Einfluss geld machte; so würde das Resultat davon doch nicht sein, dass der Einuss von B geändert würde, sondern nur, dass sich der Einfluss von C it dem von B kombinirte, um der Masse A eine Gesammtthätigkeit ufzudrücken, in welcher sowohl die erstere als die letztere als Komponente enthalten wäre. Wir haben also in der Gravitation den all eines Naturgesetzes vor uns, welches sich mit aller Unabhängigeit und Nothwendigkeit äussert.

Betrachten wir hiergegen die Wirkung der Affinität. Wenn sich em chemischen Körper A ein wahlverwandter Körper B gegenüber befinet; so findet eine Verbindung beider statt, wenn alle übrigen gleichzeig vorhandenen Körper C eine schwächere Verwandtschaft zu A haen, als B: ist dagegen ein Körper C von stärkerer Verwandtschaft orhanden; so verbindet sich A nicht mit B, sondern mit C. Das Getz der Affinität zwischen A und B ist also nicht absolut unabhängig, ondern von der ausser B vorhandenen Umgebung von A mitbedingt: ieses Gesetz trägt mithin nicht ausschliesslich den Charakter der Nothendigkeit, sondern erscheint modifizirt durch ein Prinzip, welches ir schon öfter Neigung genannt und von welchem wir behauptet haen, dass es aus dem Verhalten der ungleichartigen Stoffe entspringe nd im Kosmetismus oder dem Verhalten des Äthers zum Ponderaelen zuerst und am einfachsten in Erscheinung trete.

Dieses Prinzip der Neigung erlangt nun in der Vegetation eine och höhere Bedeutung. Die Pflanze trifft bei der Assimilation eine uswahl zwischen den ihr dargebotenen Stoffen nicht bloss nach der ualität dieser Stoffe, sondern auch nach vielen anderen Nebenumtänden, wie Temperatur, Licht, Feuchtigkeit und nach dem morpholoischen Zustande der assimilirenden Zelle; ausserdem zeigt sie nicht bloss insichtlich der Assimilation, sondern auch hinsichtlich aller ihrer brigen Thätigkeiten, namentlich hinsichtlich des Ganges ihrer Metanorphosen (der Bildung von Zweigen, Blättern, Blüthen u. s. w.) eine rosse Mannichfaltigkeit, welche lediglich durch die von den Umständen bhängige Intensität und Richtung ihrer Neigungen bestimmt wird.

Im animalischen Organismus erhebt sich dieses Prinzip der Neigungen zu einem Grade, welchen ich Freiheit oder Selbstbestimmung nenne. Freiheit ist hiernach nichts Negatives, wie es gewöhnlich aufgefasst wird, nicht der Mangel des positiven Zwanges, sonlern etwas entschieden Positives: **Freiheit ist das Gesetz des Geistes.** Wir können denken und handeln, wie wir wollen; das ist soweit ganz richtig: allein unser Wille ist nicht gesetzlos thätig, sondern nach Neigungen. In diesen Neigungen, welche wir auch Belieben nennen können, besteht die Freiheit, und demzufolge können wir wohl sagen, der Wille ist frei, ohne damit zu sagen, dass er gesetzlos sei.

Auf den ersten Blick mag es als das Resultat einer gesetzlosen Willkür erscheinen, dass man seine Gedanken nach Belieben auf ganz hetero-

35*

gene Dinge, auf den Mond, auf einen Freund, auf die Zukunft, auf einen mathematischen Satz lenken kann: allein in Wahrheit ist der Gedanke, welchen man wirklich hat, doch das Ergebniss bestimmter Neigungen, und ausserdem sind die verschiedensten Objekte des Denkens durchaus nicht heterogene Dinge, sondern völlig gleichartig. Beachtet man nämlich, dass nach No. 5 jeder Gedanke ein besonderer Zustand unserer selbst ist; so erscheinen die verschiedensten Gedanken, so heterogen auch ihre Objekte sein mögen, doch in ihrem Grundwesen oder in ihrer subjektiven Bedeutung als gleichartige Thätigkeiten desselben Organismus: es verschwindet die Meinung der Zusammenhangslosigkeit aller dieser Gedanken und es gewinnt die Vorstellung an Klarheit, dass die wirklich eintretende Seelenthätigkeit durch bestimmte Neigungen bedingt sei.

Als einen direkten Beweis für die Ansicht, dass die Thätigkeit des Willens nicht unabhängig, sondern auf gesetzliche Neigungen basirt sei, betrachte ich die Thatsache, dass es unmöglich ist, an Nichts zu denken. Jeder Versuch zur Verbannung aller Gedanken führt zum Schlafe, zu dem Zustande gänzlicher Suspension des Willens. Die Gedanken drängen sich also gewaltsam auf, und Diess kann nur die Wirkung bestimmter Neigungen sein. Einen zweiten Beweis hierfür liefern die instinktiven Thätigkeiten der Menschen und Thiere (No. 6), in welchen der Wille unverkennbar durch gesetzliche Neigungen bestimmt wird.

Selbstredend umfassen die Neigungen, in welchen die Freiheit besteht, nicht bloss die aus physikalischen und vegetativen Prozessen entspringenden Dispositionen, sondern sind wesentlich in den spezifischen Eigenschaften des animalischen Systems begründet. Dass wir diese Neigungen begreifen wollen, ist eine absurde Prätension: nur eigentliche oder Quantitätsgesetze sind intelligibel, weil das intellektuelle Vermögen, der Verstand, auf die Quantitätsgesetze basirt ist; die Neigungen oder Qualitätsgesetze dagegen sind schlechterdings nicht intelligibel, sie sind undenkbar, sie sind nur als faktische Prinzipien auszuüben und zu empfinden. Der Verstand wird jene Neigungen niemals begreifen, niemals als nothwendige Erscheinungen erkennen, niemals auf eigentliche Gesetze bringen, weil eben eine Neigung keinem eigentlichen Gesetze folgt: nur das Gemüth, dieses auf Qualitäten reagirende, aber nicht denkende, sondern empfindende Vermögen, wird die in jenen Neigungen liegende Nöthigung anerkennen, ohne sie jedoch zu verstehen. Demnach werden wir uns stets frei und doch verantwortlich fühlen: denn da in der Freiheit das Gesetz des Geistes liegt; so müssen die Ergebnisse dieses Gesetzes und die damit verknüpfte innere Befriedigung von der Ausbildung des Geistes abhängen: mit der Freiheit des Menschen ist also der Drang nach Vervollkommnung und das Gefühl der Verantwortlichkeit innig verknüpft. Je unfreier das Geschöpf oder je schwächer und einfacher die Neigungen, welche das Gesetz seines Geistes ausmachen, desto schwächer ist dieser Drang, desto geringer das Gefühl der Verantwortlichkeit. Freiheit ist mithin das göttliche Prinzip, das den Menschen adelt.

8. Induktion der Geistesthätigkeiten. — Wirkung der Künste. Die Organisation des Körpers, also die aus der Vitalität entspringende gesetzliche Verbindung aller Organe muss nicht bloss wegen der formellen Verbindung der Organe, sondern auch wegen der Abhängigkeit der in diesen Organen zur Erscheinung kommenden Kräfte einen Einfluss auf jede Thätigkeit des Organismus haben. Diese Thätigkeit ist eine induktorische Erregung aller übrigen Organe in Folge der Thätigkeit irgend eines derselben.

Dieser Mitbetheiligung der übrigen nicht direkt in Anspruch genommenen Organe kann offenbar das Kriterium der Unabhängigkeit oder Freiheit nicht zukommen; sie wird also unbewusst und unaufhaltsam oder unwillkürlich vor sich gehen, gleichwohl aber sich uns als ein harmonischer, d. h. in den Gesetzen des Organismus begründeter Effekt zu erkennen geben.

Zu diesen Induktionswirkungen gehört z. B. die Entstehung von Gefühlen oder Affekten, sowie die Entstehung von Neigungen und auch die Entstehung von Körperbewegungen (Gesten) aus reinen Verstandesvorstellungen: hier ruft die Verstandesthätigkeit induktorisch eine Regung des Gemüthes, des Temperamentes, des Willens als eine sekundäre Wirkung hervor. Umgekehrt entspringen aus Gemüthsbewegungen Gedanken. Auch rein körperliche Thätigkeiten ziehen geistige nach sich. Eine interessante Erscheinung der letzteren Art ist der Traum, welcher, wie ich in der Schrift „Körper und Geist" §. 14 näher ausgeführt habe, die induktorische Erregung des Sensoriums durch die verschiedenen vitalen Prozesse des Blutes und der Nerven und durch sonstige äusserliche Impulse ist.

Es liegt auf der Hand, dass die induktorische Erregung eines Organs nur in einem allgemeinen Verhältnisse zu der Thätigkeit des induzirenden Organs stehen kann, weil ja die Erregung durch Induktion nur auf den allgemeinen organischen Verbindungen, nicht auf der normalen Affektion des induzirten Organs beruht, oder dass der Geisteseindruck, welchen das induzirte Organ hervorruft, nur als eine harmonische Begleitung desjenigen Eindruckes erscheint, welcher durch das direkt oder normal in Thätigkeit versetzte Organ erzeugt wird. Objektive Bestimmtheit kann nur dem letzteren Eindrucke zukommen, während der erstere lediglich eine subjektive, also in objektiver Hinsicht völlig unbestimmte Folie für jenen Eindruck darbietet.

Aus Vorstehendem ergiebt sich manche nützliche Anwendung, unter Anderem auf die Wirkungen der Kunst. Die Kunst hat den Hauptzweck, nicht den Verstand, auch nicht das Gemüth, sondern das ästhetische Vermögen zu erregen. Weder das Wahre, noch das Gute, sondern das Schöne ist das eigentliche Ziel der Kunst. Wie aber jedes Seelenvermögen mit allen übrigen in organischer Verbindung steht und daher auch diese in Mitthätigkeit versetzt; so kann es eine vollendete Kunst nicht geben, welche nicht gleichzeitig mit dem ästhetischen Vermögen alle übrigen Seelenvermögen, also den Verstand, die Phantasie, den Willen und das Gemüth in harmonische Thätigkeit versetzte. Die Kunst muss also in geeigneter Weise auch Gedanken und Gefühle erwecken. Je nach dem Mittel, dessen sich eine Kunst bedient, wird aber

ihre Wirkung direkt mehr auf das eine oder auf das andere Seelenvermögen gerichtet sein und, indem sie in dieser Richtung am vollkommensten und bestimmtesten wirkt, die übrigen Seelenvermögen nur induktorisch, also in mancher Hinsicht unbestimmter in Thätigkeit setzen.

So wirkt Malerei und Plastik wesentlich durch Formen, erzeugt also direkt Vorstellungen und wirkt dadurch zunächst auf den Verstand und ruft Gedanken hervor: die Wirkung auf das Gemüth oder die Erzeugung von Gefühlen ist keine direkte, sondern eine Induktionswirkung dieser Künste, welcher die Gedankenbildung vorhergeht. Demnach ist die durch die Betrachtung eines Gemäldes erzeugte Gemüthsbewegung keine bestimmte, wie die dadurch gewonnene Vorstellung; sie hängt vielmehr von dem bei der Betrachtung sich einstellenden Gedanken und von der durch diese Gedanken bewirkten Induktion ab. Dasselbe Bild kann Schrecken, Angst, Wehmuth, Hoffnung, Zorn und manchen anderen Affekt erzeugen.

Um in der Kürze die Wirkungen der hauptsächlichsten Künste zu charakterisiren; so ergiebt sich leicht, dass die Architektur durch reine oder allgemeine Formen wirkt, also direkt Vorstellungen erzeugt und dadurch zunächst das Verstandesorgan in Anspruch nimmt. Bestimmt ist die architektonische Form jedoch nur in räumlicher, also rein sinnlicher Hinsicht; wir erhalten dadurch nicht die Vorstellung eines individuellen Gegenstandes; der intellektuelle Eindruck ist daher nur hinsichtlich seines allgemeinen Charakters bestimmt, sonst aber völlig unbestimmt. Demzufolge knüpfen sich an die Betrachtung eines Bauwerkes Gedanken, welche nur nach allgemeinen Artkennzeichen bestimmt, sonst aber ganz willkürlich sind. Diese Gedanken erzeugen induktorisch Gemüthsregungen, welche selbstverständlich noch unbestimmter sind. Die wesentlichste Wirkung der Architektur äussert sich auf das ästhetische Vermögen. Nicht der Gedanke, nicht das Gefühl wird durch die Architektur mit irgend einer Bestimmtheit hervorgerufen, sondern lediglich der Charakter, die Weise, in welcher die erregte Seelenthätigkeit sich äussert. Demzufolge ist auch der Baustil, dieses wesentlichste Element der Baukunst, so sehr der Ausdruck des Zeit- und Volksgeistes oder der Weise und Richtung, in welcher sich die Gedanken und Gefühle eines Volkes aussprechen. Die Architektur ist nach allem Diesen die Kunst der reinen oder absoluten Formen: man darf jedoch hierbei nicht vergessen, dass diese Kunst nicht ihrer selbst wegen geübt wird, dass sie vielmehr im Dienste eines praktischen Bedürfnisses steht, also sich mit der Technik verbinden muss.

Durch die Malerei und Plastik wird eine in jeder Hinsicht bestimmte Vorstellung erweckt. Demzufolge ist auch die sich daran knüpfende Gedankenreihe eine bestimmtere, als die der Architektur. Allein völlig bestimmt ist der durch ein Bild erzeugte Gedanke doch noch nicht, wenn wir unter einem Gedanken eine in der Zeit verlaufende Reihenfolge von Vorstellungen ansehen: denn das Bild giebt uns nur eine einzige Vorstellung, folglich keinen Gedanken.

Schon Lessing hat in seiner berühmten Abhandlung über den Lao-

ɔon darauf aufmerksam gemacht, dass ein Bild einen Zustand im aume, keine Handlung in der Zeit darstelle, wogegen umgekehrt die ichtkunst nur Handlungen und keine Zustände darzustellen befähigt i. Aus dieser Thatsache zieht Lessing den ganz richtigen Schluss, ıss sich deide Künste in den hierdurch bezeichneten Grenzen zu halten ıben, dass es also beispielsweise wohl den Dichtern Homer und Sohokles gestattet sei, ihre Helden laut schreien zu lassen, dass jedoch ɜr Bildhauer den Laokoon nicht schreiend, sondern nur seufzend ırzustellen habe, weil der dichterische Schrei eines Helden ein in der andlung vorüberrauschender wirksamer Effekt sei, wogegen der dauernde chrei des Laokoon unerträglich sein würde.

Diese Ansichten von Lessing sind ohne Frage vollständig begrünɜt: sie sind gewonnen aus der richtigen Beurtheilung der faktischen ittel und Wirkungen der beiden Künste. Ich erlaube mir, den Gegenand auf Grund der im Vorstehenden gewonnenen Ansichten über die usammenwirkung der Aussenwelt mit den Sinnen und den Seelenvermöen näher zu erläutern und die Betrachtung in das Bereich der übrigen ünste überzuführen. Wie bereits erwähnt, liefert ein Bild unmittelbar ur eine einzige Vorstellung, keinen Gedanken. Die Erweckung von edanken mit harmonischen Gefühlen, also eine in der Zeit verlauınde angenehme Modulation von Vorstellungen und Empfindunen ist aber ein besonderer Zweck der Kunst. Dieser Zweck kann offenar nicht durch Fixirung einer einzigen Vorstellung erreicht weren: es leuchtet also ein, dass eine Kunst wie Malerei, Plastik und Dichtunst, welche direkt auf den Verstand oder mittelst Vorstellungen irkt, nothwendig darauf Bedacht nehmen muss, dass, insofern sie nur ne einzige Vorstellung giebt, wie die Malerei und Plastik, sich darus mit Leichtigkeit ein Gedanke und zwar ein solcher Gedanke entickelt, welcher induktorisch zu angenehmen und edelen Gefühlen ihrt. Ein Bild (wie ein heftig schreiender Laokoon), welches in einer ewissen Beziehung eine sehr ungewöhnliche und dadurch stark feselnde Vorstellung liefert, wird offenbar die freie Gedankenentwicklung indern, also seine übrigen Beziehungen nicht zu gehöriger Wirkung ommen lassen, folglich kein vollkommenes, harmonisches Kunstwerk darɜellen.

Die Dichtkunst wirkt durch die Sprache. Gleichviel nun, ob die prache als Schrift erscheint, also durch das Auge eingeht, oder ob sie ls Rede auftritt, also durch das Ohr aufgenommen wird, immer wirkt ie durch Formen: als Schrift durch sichtbare oder räumliche Forıen, als Rede durch akustische Formen oder Laute vermöge der Clangfiguren im Ohre, nicht durch Töne (vergl. §. 77 No. 10). Insoɜrn ist das äussere Mittel für Schrift und Rede wesentlich dasselbe. Die Formen der Sprache sind an sich bedeutungslos, wie die archiektonischen: allein ihre Anwendung unterscheidet sich sehr wesentlich on der der letzteren dadurch, dass mit den architektonischen Formen ıur ein Eindruck auf das Sensorium bezweckt und der höhere geistige Effekt lediglich in der Induktionswirkung gesucht wird, welche aus lieser sensuellen Erregung entspringt, während mit den Sprachformen oder Sprachlauten ein unmittelbarer Eindruck auf die höheren Gei-

stesvermögen beabsichtigt wird. Die letztere Absicht wird durch Formen erreicht, welche an sich kein Interesse erregen, deren unmittelbarer Eindruck auf das Sensorium daher auch ohne fesselnde Wirkung ist, welche sich mithin dazu eigenen, um Abstraktionen daran zu knüpfen und auf diese Weise den Verstand und die Phantasie in eine bestimmte Thätigkeit zu versetzen.

Die Dichtkunst kann demzufolge nicht ohne Weiteres auf jedes Individuum wirken, wie die Malerei und Architektur, sondern nur auf ein dazu künstlich vorbereitetes, nämlich nur auf ein solches, welches die Sprache erlernt und dadurch zu jenen Abstraktionen befähigt ist. Von grosser Bedeutung ist aber noch, dass das Gedicht direkt eine Wirkung auf die Phantasie, nicht auf den Verstand, die prosaische Rede dagegen unmittelbar eine Wirkung auf den Verstand, nicht auf die Phantasie beabsichtigt. Um das Erstere zu erreichen, muss die Dichtkunst sich im Medium der Phantasie, also im Werden oder im Entwicklungsprozesse (No. 5) bewegen, mithin Handlungen schildern, welche in der Zeit verlaufen. Die Prosa dagegen muss das Medium des Verstandes, also die Erkenntniss wählen, folglich Zustände beschreiben (No. 5). Wir heben noch hervor, dass bei der Handlung die stetige Entwicklung, das gesetzliche Werden das Hauptsächliche ist, während bei der Beschreibung von Zuständen das Nacheinandersein bedeutungslos ist und nur dazu dient, die zu einem Zustande gehörigen Einzelheiten allmählich an ihren Ort zu stellen, also die Erkenntniss des gleichzeitig bestehenden Mannichfaltigen zu ermöglichen.

Gegen die Architektur unterscheidet sich daher die Dichtkunst durch die Bestimmtheit der Vorstellungen, welche sie erweckt; gegen die Malerei unterscheidet sie sich aber dadurch, dass sie, als eine in der Zeit verlaufende Wirkung nicht einzelne Vorstellungen, sondern Gedanken hervorruft. Die Wirkung auf das Gemüth ist bei allen diesen drei Künsten eine Induktionswirkung; die nächste Wirkung geht bei allen dreien auf den Verstand.

Aus Vorstehendem geht hervor, dass die Baukunst alles Das vermeiden muss, was die Wirkung thut, eine ganz bestimmte oder konkrete Vorstellung mit Übermacht zu erwecken oder eine bestimmte Gedankenreihe zu induziren, namentlich aber eine solche, welche mit der Bestimmung des Bauwerkes nicht harmonirt. Demzufolge sind grosse und ergreifende Kunstwerke der Malerei und der Plastik an den Bauwerken in denjenigen Ansichten, wo die Bauwerke als solche wirken, also einen architektonischen Eindruck machen sollen, unzulässig. Hierzu rechne ich die zu reichen und imposanten Malereien und Statuen an den Aussenseiten der Bauwerke, welche, den Charakter der Dekoration und des Ornamentes verlassend, die Bedeutsamkeit des Bauwerkes in den Hintergrund stellen. Derartige Kunstwerke finden ihren natürlichen Platz besser im Innern der Gebäude oder in isolirten, selbstständigen Stellungen.

Die Malerei und Bildhauerei haben dahin zu streben, dass die konkrete Vorstellung, welche sie geben, als dauernder Zustand einen künstlerischen Effekt giebt und eine freie Gedankenbewegung

statttet; sie dürfen also nicht solche Zustände, welche nach dem natürli-
en Laufe der Dinge rasch vorübergehen, verewigen und überhaupt nicht
che Szenen darstellen, welche die Phantasie in Banden legen.

Die Dichtkunst muss, um die Gedankenbewegung hervorzu-
ngen, Handlungen oder Entwicklungen schildern, nicht aber Zu-
ände mit solcher Gewalt malen, dass dieselben zu einer Fessel für
freie und leichte Bewegung der Gedanken werden.

Übrigens ist hervorzuheben, dass da die Funktion jedes Sinnesor-
ns zwar vornehmlich nur eine einzige spezifische Eigenschaft be-
zt, aber doch der übrigen Eigenschaften nicht ganz entbehrt,
ch die Wirkung jeder Kunst zwar im Wesentlichen die vorstehend
schriebene spezifische ist, aber doch nicht ganz und gar den Effekten
übrigen Künste fremd ist. So stellt ein Bild allerdings einen einzi-
n Zustand dar: allein die Mannichfaltigkeit eines solchen Zu-
ndes kann dadurch, dass ihre Einzelheiten und Beziehungen nachund-
ch aufgefasst werden, zu einer Thätigkeit in der Zeit, also zu
ner Gedankenbewegung oder zu einer Handlung Veranlassung
ben. Ebenso bewirkt die Sprache eine Reihenfolge von Eindrücken in
Zeit; allein diese Reihenfolge stellt nur in der dichterischen Form
e Handlung, ein Werden dar, wogegen sie in prosaischer Form
zu dient, die Einzelheiten eines Zustandes allmählich vorzufüh-
n, also nur die Erkenntniss eines Seins bewirkt. Demgemäss vermag
Dichter auch die Effekte der Malerei durch Beschreibung nachzu-
men. Immer ist aber mit jener Verwendung der Malerei und mit die-
Verwendung der Dichtkunst ein Aufgeben des wahren Zielpunktes
ser Künste verbunden und auf Vollendung kann die Leistung einer
nst nur Anspruch machen, wenn sie sich von der Nachahmung der
ekte einer anderen Kunst frei erhält.

Es ist beachtenswerth, dass während das sichtbare Objekt, also das
mälde, die Natur, das Bauwerk, die Schrift unbeweglich, im Raume
harrlich ist, unserem Sinnesorgane, dem Auge, womit wir das
jekt auffassen, eine grosse Beweglichkeit gegeben ist, dass dage-
n, während das akustische Objekt, also die Rede und die Musik in
Zeit verfliesst, sich bewegt, das betreffende Sinnesorgan das
r, unbeweglich, im Raume beharrlich ist. Hierdurch wird
enbar die Beziehung des Auges zur Zeit und zur Phantasie und
Ohres zum Raume und zum Verstande wesentlich erleichtert.

Die Musik wählt ein ganz anderes Mittel als alle eben genannten
nste, nämlich die Töne, zu ihrer Angriffswaffe. Da das wesentliche
rkmal der Töne die Qualität oder Art ist (während das Merkmal
von der Sprache gebrauchten Laute die Form ist); so geht die
rkung der Musik unmittelbar nicht auf den Verstand und die Phan-
sie, sondern auf das Gemüth. Die Musik giebt uns direkt Em-
ndungen und nur induktorisch Vorstellungen und Gedan-
n. Hieraus geht hervor, dass die Musik nicht darauf ausgehen kann
l soll, bestimmte Vorstellungen zu erzeugen oder Situationen
malen, weil die Induktion unfähig ist, aus einer Gemüthsstimmung
e bestimmte Vorstellung zu entwickeln, ein Mittel also, welches
sen Zweck anstrebt, z. B. die Nachahmung natürlicher Laute (oder

der Übergang von Musik zur Sprache), die freie Bewegung des Gemüthes hemmt und dadurch den höheren Effekt der Musik unmöglich macht.

Da die musikalische Wirkung in der Zeit verläuft; so wird die aus der Gemüthsbewegung entspringende Induktionswirkung auf das intellektuelle Vermögen nicht eigentlich Vorstellungen von dauernden Zuständen, sondern Gedankenreihen erzeugen, auch wegen der Unbestimmtheit der Vorstellungen weniger den Verstand, als die Phantasie beschäftigen. Hiernach eignet sich die Musik sehr gut zur Begleiterin der Dichtkunst und feiert im Gesange ihren höchsten Triumph, sie eignet sich aber nicht zur Begleiterin der Malerei und Plastik: die Betrachtung eines Gemäldes oder einer Bildsäule kann nicht durch Musik gehoben, sondern nur gestört werden, weil das Bild fesselnd, die Musik aber bewegend wirkt. Eher kann geeignete Musik den architektonischen Eindruck heben, weil letzterer unbestimmt ist und daher eine mässige Gedankenbewegung mit sich führt. Auch diejenige Malerei, welche weniger durch konkrete Situationen, als durch unbestimmte Vorstellungen und durch Farben wirkt, wie die Landschaftsmalerei, könnte in einer gleichzeitigen Anregung des Gemüthes durch Töne eine angemessene Unterstützung finden.

Schliesslich wird klar, dass für die Dichtkunst, welche Handlungen in der Zeit abrollt, der Rythmus der Rede ein wesentliches Hülfsmittel zur Erregung der Gefühle ist. Durch den Rythmus oder durch den Vers und ebenso durch den Reim nimmt die Poesie das Medium der Musik in sich auf.

Übrigens ist in allen Künsten die Wirkung auf das Gemüth, welche in der Erzeugung bestimmter Gefühle besteht, von der Wirkung auf das ästhetische Vermögen, den Schönheitssinn, welche die mit dem Gefallen am Schönen verbundene Erregungsweise darstellt, sorgfältig zu unterscheiden. In der Melodie, im Rythmus, in der Harmonie, in der Instrumentation besitzt namentlich die Musik reiche Mittel, diese Effekte zu nuanciren.

9. Die Sinneseindrücke als Material für die höhere Seelenthätigkeit. — Sensualismus und Intellektualismus. Die Aussenwelt liefert durch ihre Objekte das Material für unsere Sinnesthätigkeit; sie allein bewirkt also, dass unsere Sinnesvorstellungen und Sinnesempfindungen einen Inhalt bekommen. Die Form, in welcher wir diesen Inhalt auffassen, ist unser eigenes, subjektives Werk, ist eine Eigenschaft unseres Geistes. Zur Erwerbung von Sinneseindrücken sind also immer zwei von einander ganz unabhängige Kräfte erforderlich: die physischen Kräfte der Aussenwelt und der animalische Geist. Wir könnten weder sinnliche Vorstellungen und Empfindungen haben, wenn es keine äusseren Objekte gäbe oder unsere Sinnesorgane nicht äusserlich affizirt würden, noch wenn unser Geist unthätig wäre oder die äusseren Sinnesorgane unbrauchbar wären.

Trotz dieser nothwendigen Zusammenwirkung zwischen Aussenwelt und Geist behuf Erzeugung von Vorstellungen und Empfindungen, d. h. behuf Versetzung des Geistes in bestimmte Zustände, leuchtet

ein, dass der Geist, d. h. das Wesen des Geistes von der -senwelt und auch von den materiellen Nervenprozessen eigenen Organismus ganz unabhängig, dass derselbe vielmehr eine stständige und eigenartige Anlage des animalischen Organismus Die Zusammenwirkung mit der Aussenwelt setzt ihn nur in Thä- :eit und bestimmt, indem sie durch den Nervenprozess einen be- imten Zustand des Organismus herbeiführt, den momentanen spe- len Werth des Geistes in der für seine einzelnen Grundeigenschaf- geeigneten Skale; sein Wesen ist aber mit dem Wesen des Or- ismus als etwas völlig Selbstständiges, von Entwicklung, von auch, von Erfahrung, von Aussenwelt, von organischen Prozessen g Unabhängiges.

Die Sinnesthätigkeit erscheint uns hiernach als eine Verbindung Vermischung von physischer mit geistiger Thätigkeit. letztere, nämlich die rein geistige Thätigkeit ist auf das Gesetz Freiheit gegründet (No. 7).

Die reine Geistesthätigkeit kann sich auf zwei Veranlassungen ern, einmal durch einen Impuls von aussen und einmal durch ei- en Impuls, d. h. durch Freiheit. Der Impuls von aussen erfolgt h die Sinneseindrücke: was also die äusseren Objekte für Sinne, das sind die Sinneseindrücke für den absoluten reinen Geist. Auch in der materiellen Verbindung der Organe ht sich diese Beziehung aus: das Sensorium sendet seine sensuellen en nach den an der Peripherie liegenden Sinnesorganen (Auge, u. s. w.); das Zentralorgan der reinen Geistesthätigkeit da- n hat keine peripherischen Nerven, dasselbe steht nicht mit der senwelt, sondern nur mit dem Sensorium in direkter Verbindung. äusseres Objekt kann nicht unmittelbar auf den Verstand oder das üth, sondern nur auf das Sensorium wirken und Letzteres wirkt auf Zentralorgan der reinen Geistesthätigkeit.

Die Sinneseindrücke, also indirekt die Aussenwelt, liefern hier- unserem Geiste den Stoff zu weiterer Verarbeitung, sie bedin- den sachlichen Inhalt seiner Gedanken und Empfindungen. In Wechselwirkung der Sinne mit der Aussenwelt oder in der Ver- itung der Aussenwelt durch die Sinne wachsen, erstarken, ent- celn sich die Sinne oder es vermehrt sich die Kraft der im Sen- um liegenden Sinnesanlagen. In der Wechselwirkung des ab- en Geistes mit den Sinneseindrücken (des grossen Gehirnes mit Sensorium) wachsen, erstarken, entwickeln sich die reinen lenvermögen oder es vermehrt sich die Kraft des im Organis- wohnenden Geistes. In Folge dieses Wachsthums wird Geist offenbar immer mehr zu den auf Freiheit oder Selbst- immung beruhenden, also von der Aussenwelt unabhängi- Thätigkeiten befähigt. Obgleich in seinem spezifischen Wesen g unabhängig von der Aussenwelt, kann hiernach die Entwicklung Geistes doch nur durch das Leben in der physischen Welt vor gehen.

Fehlten die Sinne; so wäre zwar das Wesen des Geistes als spezi- e und mit Freiheit ausgerüstete Anlage vorhanden: allein sein Ver-

stand und Gemüth wäre leer an objektiv gültigem Inhalte. Ausserdem würde der Mensch niemals Gelegenheit gehabt haben, seinen Geist zu üben oder in der Wechselwirkung mit Objekten zu bethätigen; demzufolge würde dieser an Inhalt leere Geist auch kraftlos bleiben oder ausser Stande sein, eine auf Freiheit oder Selbstbestimmung beruhende Thätigkeit auszuüben. Denn wenn auch der Geist an sich eine dem Wesen nach fest gegebene Anlage ist, welche einen bestimmten speziellen Werth, also z. B. einen Gedanken oder eine Empfindung, erst durch die momentane Zusammenwirkung mit gewissen ausser ihr liegenden Kräften annimmt; so ist doch klar, dass der Effekt einer solchen Zusammenwirkung nicht bloss von dem Wesen, sondern auch von der Erheblichkeit jener Anlage abhängt und dass eben diese Erheblichkeit der Anlage das Resultat der Entwicklung und dass demzufolge der Geist durch Übung bildungsfähig ist. Ebenso ist Gravitation eine ihrem Wesen nach fest gegebene Anlage eines Mineralkrystalles, welche einen speziellen Werth erst durch die Zusammenwirkung mit der ponderabelen Aussenwelt annimmt: allein, indem sich der Krystall durch Wachsthum vergrössert, vermehrt sich die Erheblichkeit jener Anlage und der Krystall wird schwerer, obgleich das Wesen dieser Anlage unverändert bleibt.

Wenn es möglich wäre, dass der Geist eines animalischen Organismus nicht in der Schule der Sinne, sondern durch ganz andere Impulse ausgebildet würde und dadurch eine gewisse Kraft erlangte, mit welcher er eine auf Selbstbestimmung gestützte Thätigkeit verrichten könnte; so liesse sich zwar nicht sagen, welche Vorstellungen und Empfindungen ein solches Individuum haben würde, wohl liesse sich aber sagen, welche Vorstellungen und Empfindungen dasselbe nicht haben könnte. Selbstverständlich hätte ein solcher Mensch keine Vorstellung von den Dingen und Kräften der Aussenwelt, er kennte weder irgend welche bestimmten Objekte, noch auch irgend welche bestimmten Kräfte der Wirklichkeit wie Licht, Schall, Druck und demzufolge auch nicht die aus der Wirkung dieser Kräfte hervorgehenden Sinneseindrücke wie Form, Farbe Laut, Ton, Gefühl, Geschmack, Geruch u. s. w.

Würde ein solcher Mensch einen Begriff von Raum und Zeit haben? Ich glaube nein. Denn wenn auch diese Vorstellungen auf den subjektiven Formen des eigenen Organismus beruhen; so hätte doch derjenige Organismus, welchem alle Sinne fehlten, niemals in den Zustand versetzt werden können, welchem die Vorstellung des Raumes entspricht: denn zur Annahme irgend eines speziellen Zustandes ist nicht bloss die spezifische Anlage zu der Einnahme dieses Zustandes oder die eigene geistige Befähigung ausreichend, sondern es ist eine Veranlassung dazu, also die Wechselwirkung zwischen dem Geiste und einer anderen Kraft nothwendig (vergl. auch §. 73). Fehlt diese Veranlassung; so nimmt der Organismus niemals den in Rede stehenden Zustand ein, kömmt also auch nicht zu der Erkenntniss desselben.

Ebenso wie der der Sinne ermangelnde Mensch keinen Begriff von Raum hätte, würde er auch keinen von Zeit, Kraft, Art u. s. w. haben.

Was die Gefühle oder Gemüthsbewegungen eines solchen Menschen betrifft; so muss man erwägen, dass sich die Gefühle eines

:h die Sinne erzogenen Menschen stets mit gewissen Vorstellungen nüpfen oder dass der Gefühlsprozess mit dem Denkprozesse in einem nischen Zusammenhange steht, dass also ein Mensch, welcher niemals re Vorstellungen gehabt hat, auch nicht unsere Gefühle haben kann.

Wir sehen also, dass wenn eine Entwicklung des Geistes ausser-b des wirklichen Lebens überhaupt möglich wäre, dieser Geist der wirklichen Welt in keiner gesetzlichen Beziehung hen würde. Ein solcher Geist wäre überhaupt ein Monstrum: wir n aber diesen Fall nur fingirt, um die Konsequenzen zu erkennen; dem Vorhergehenden folgt, dass der Geist ausserhalb der Schule Sinne und ausserhalb der Sphäre der wirklichen Welt sich haupt nicht entwickeln kann.

Durch Vorstehendes dürfte einerseits der Wahn der Sensualisten Empiristen klar werden, welche die Sinneseindrücke oder mehr die physiologischen Prozesse der sensuellen Nerven auf Anre-g der Aussenwelt als die eigentlichen Erzeuger des Geistes ansehen, diese Prozesse doch nur die Impulse sind, welche der dem Organis-innewohnende, seinem spezifischen Wesen oder seiner Qualität nach ig selbstständige Geist bedarf, um seine Intensität zu entwickeln um sich auszubilden. Andererseits dürfte sich aber daraus auch Irrthum der Intellektualisten und Idealisten ergeben, welche Geist für ein von der äusseren Natur dermaassen unabhängiges We-halten, dass sie ihm die Fähigkeit zur Entwicklung und Ausbildung er selbst sogar in völlig von der Aussenwelt abgeschiedenen Zustande hreiben, während doch in diesem Zustande keine Ausbildung und Er-kung des Geistes stattfinden, das blosse Vorhandensein einer spezifi-n Anlage ohne Intensität aber völlig effektlos sein würde.

10. **Mensch und Thier.** Die im gegenwärtigen Paragraphen be-hteten Vermögen sind die Grundeigenschaften des Geistes. st aber ist wie Vegetation, Affinität, Kosmetismus in seinem Grund-en oder als spezifische Anlage etwas Absolutes: Alles was t hat, also jeder animalische Organismus oder jede Person, mithin dieselben geistigen Grundeigenschaften. Demge-ss erwarten wir in jedem Thiere eben dieselben Vermö-, welche der Mensch besitzt, und zwar die höchsten sowie die niedrigsten. Die höchsten Seelenkräfte sind ja eben reinen Eigenschaften des Geistes, also die eigentlichen oder zifischen Zeugnisse für das Vorhandensein dieser Naturkraft: fehl-dieselben; so fehlte der Geist überhaupt und die niedrigeren Seelen-te, nämlich die Sinne, welche nichts Anderes sind, als Resultate des mmenwirkens der geistigen Kraft mit den anorganischen Kräften Aussenwelt, wären ebenfalls unmöglich.

Die Gemeinsamkeit der Grundeigenschaften des Geistes muss noth-dig zur Gemeinsamkeit der Grundeigenschaften des materiellen ganismus oder Leibes führen, oder umgekehrt, damit sich in der erie der Geist entfalten könne, muss dieselbe in Hinsicht auf Stoff-lt, Anordnung und sonstige Grundeigenschaften gewisse nothwen-e Bedingungen erfüllen, und diese Grundbedingungen der organi-

schen Körperbildung stellen in ihrem Inbegriffe ein Grundprinzip oder eine Summe von Grundeigenschaften dar, welche jedem animalischen Individuum nothwendig zukommen muss. Demgemäss werden die Grundformen der animalischen Körperbildung in jedem Thiere dieselben sein wie im Menschen.

Wie unterscheidet sich nun der Mensch von dem Thiere? Nicht anders wie ein Thier vom anderen, wie ein Individuum vom anderen, wie eine Pflanze von der anderen, wie ein Mineral von dem anderen: nämlich nur durch den speziellen Werth, welchen eine jede seiner Kräfte oder Eigenschaften in der Stufenleiter der betreffenden, dem ganzen Naturreiche gemeinsamen Anlage einnimmt. Der spezielle Werth einer Anlage findet sich übrigens nicht für alle Anlagen nach demselben Verfahren: es ist daher sehr wichtig, sich das schon in No. 4 angedeutete Prinzip gehörig klar zu machen, welches zur Ermittlung jenes speziellen Werthes dient.

Es giebt nach dem Obigen fünf verschiedene Grundeigenschaften der Dinge oder fünf verschiedene Grössenarten: Quantitäten, Distensitäten, Intensitäten, Qualitäten und Modalitäten. Die Quantitäten oder eigentlichen mathematischen Grössen unterscheiden sich nur quantitativ, die Distensitäten oder Zeitgrössen durch ihre Dauer oder distensiv, die Intensitäten oder Kraftgrössen graduell. Diese drei Grössenarten sind den allgemeinen Quantitätsgesetzen unterworfen und durch eine Einheit messbar: man kann also von allen dreien sagen, sie unterscheiden sich nur quantitativ oder graduell. Die übrigen beiden Grössenarten, nämlich die Qualitäten und die Modalitäten dagegen sind, da sie nicht den Quantitätsgesetzen, sondern den Neigungsgesetzen unterliegen, auch nicht messbar, sondern nur spezialisirbar. Der spezielle Werth solcher Grössen bekundet sich durch die Besonderheit der Neigungen, welche jene Grössen innerhalb des ihnen allen zukommenden Grundwesens der Neigungen besitzen. Die Qualitäten oder Arten unterscheiden sich daher qualitativ und die Modalitäten oder Charaktergrössen expressiv: allgemein kann man sagen dass sich die letzten beiden Grössenarten qualitativ von einander unterscheiden.

Hiernach unterscheiden sich z. B. zwei chemische Elemente wie Eisen und Kohle lediglich durch die speziellen Werthe ihrer Grundeigenschaften, nicht durch besondere Grundeigenschaften. Die Grundeigenschaften sind ihnen durchaus gemein: ein Atom oder ein aus derselben Anzahl von Atomen durch Krystallisation gebildeter Körper des einen wie des anderen Stoffes hat Volum, Krystallform, Schwere, Kohäsion, Farbe, Ton, Glanz, Klang, spezifische Wärme, Nachhall, Phosphoreszenz, Wärmeleitungsvermögen (§. 2), Affinität u. s. w.; nur hinsichtlich der speziellen Werthe dieser Grundeigenschaften findet Verschiedenheit statt. Um aber diese Verschiedenheit genauer zu präzisiren, müssen die Eigenschaften klassifizirt und je nach ihrem Wesen als Quantitäten, Distensitäten, Intensitäten, Qualitäten und Modalitäten erwogen werden. Auf diese Weise zeigt sich, dass sich die beiden Atome jener Elementarstoffe hinsichtlich des Volums quantitativ, hinsichtlich des Nachhalles, der Phosphoreszenz und des Wärmeleitungsvermögens, wenn man dabei die

›it ins Auge fasst, während welcher eine bestimmte Schall-, Licht- oder ärmethätigkeit auf ein bestimmtes Maass herabsinkt, distensiv, hinhtlich der Schwere, der Kohäsion der spezifischen Wärme graduell, ısichtlich der Farbe, des Tones und der Affinität qualitativ, hinsichth der Krystallform, des Glanzes und des Klanges expressiv unterıeiden. (Vermöge der Affinität hat jeder Stoff die Neigung sich mit deren Stoffen in gewissen Mengenverhältnissen zu verbinden; der spe-:lle Werth der Affinität verleiht dem Eisen die Neigung zu diesen, der ›hle dagegen die Neigung zu jenen Stoffen).

Ganz ebenso wie mit zwei chemischen Elementen verhält es sich mit ·ei Mineralien, mit zwei Pflanzen, mit zwei animalischen Individuen. eselben haben alle Grundeigenschaften miteinander gemein, und unterıeiden sich lediglich durch die speziellen Werthe dieser Eigenschafı, also hinsichtlich der Quantitätsgrössen quantitativ und hinsichtlich r Qualitätsgrössen qualitativ. Der Unterschied zwischen irgend 7ei animalischen Geschöpfen ist also seinem wahren Wesen ıch durchaus derselbe wie zwischen irgend zwei Geschöpfen des anderen Naturreiches: alle Verschiedenheit zwischen 7ei solchen Geschöpfen ist nur durch die Spezialwerthe der rundeigenschaften bedingt.

Diese Spezialwerthe der Grundeigenschaften sind, soweit die rt des Geschöpfes dadurch bedingt ist, durch das System des Geıöpfes von Haus aus gegeben und unwandelbar (§. 73 No. 11); neben werden diese Spezialwerthe durch die Wechselwirkung mit der ıssenwelt in einer veränderlichen Weise beeinflusst, woraus sich die ıtwicklung und die Variation der Art ergiebt (§. 73 No. 9). So d z. B. die Spezialwerthe der Grundeigenschaften, welche die Schwelsäure charakterisiren, durch das in einem bestimmten Mischungsverltnisse von Schwefel und Sauerstoff gegebene mineralische System dingt, während gewisse veränderlichen Variationen dieser Spezialrthe dadurch herbeigeführt werden, dass die Schwefelsäure erwärmt er von Licht durchstrahlt oder mit Wasser gemischt oder aus unreinem hwefel bereitet wird. Auf diese Beeinflussung der Spezialwerthe der undeigenschaften eines Geschöpfes durch die Aussenwelt mache ich hier r zur Vermeidung von Missverständnissen aufmerksam. Für unsere genwärtige Betrachtung handelt es sich übrigens nicht um die Ursaen, welche jene Spezialwerthe bedingen; diese Ursachen sind der Genstand des §. 73 gewesen: es handelt sich vielmehr lediglich um die ziehungen, welche zwischen diesen Spezialwerthen der Grundeiınschaften und den Erscheinungen des daraus gebildeten əschöpfes bestehen, gleichviel welchen Ursachen jene Spezialwerthe :e Entstehung verdanken.

Aus dem Vorstehenden fliessen nun zwei wichtige Folgerungen. Die ıte besteht darin, dass die äussere Verschiedenheit oder die Verschienheit in der Erscheinung der Geschöpfe lediglich das Resultat der ränderung eben der nämlichen Grundeigenschaften innerhalb der möghen speziellen Werthe derselben ist. Anscheinend unwesent-:he Veränderungen dieser Werthe, Veränderungen, welche man für wisse Eigenschaften nur graduelle nennen kann, erzeugen die auffal-

lendsten Veränderungen in der Erscheinung, sie modifiziren die Grössen und Formen, die Farben und Töne, die Assimilationsstoffe, Affinitäten und Neigungen, die vegetabilischen, die organischen, die instinktiven und die rein geistigen Fähigkeiten. Alle Grade des Verstandes, der Phantasie und des Gemüthes, welche vom Menschen an bis zu dem niedrigsten Thiere angetroffen werden, indem alle animalischen Geschöpfe diese Vermögen als Grundeigenschaften besitzen, können nur das Resultat solcher Veränderungen des Organismus sein, welche man einen Übergang von einem speziellen Werthe zum anderen nennen muss.

Zugleich ergiebt sich aus Vorstehendem, dass auch in der materiellen Organisation oder in der Körperbildung von irgend zwei Geschöpfen desselben Naturreiches nur der spezielle Werth der Organe variiren kann, dass im Übrigen das Grundprinzip der animalischen Körperbildung sich in allen Individuen auf die nämliche Weise ausprägen muss.

Die zweite Folgerung besteht darin, dass eine grosse Ähnlichkeit gewisser Eigenschaften an zwei Geschöpfen desselben Reiches durchaus keinen Schluss auf einen gleichen Ähnlichkeitsgrad aller übrigen Eigenschaften verstattet, dass also insbesondere gewisse Übereinstimmungen in der Formbildung kein Motiv sind, gleiche Neigungen oder Systemsverwandtschaften (§. 73) vorauszusetzen. So würde eine völlig oder fast gleiche Krystallform nicht gestatten, den damit behafteten Mineralien gleiche Affinität oder gleichen chemischen Stoffgehalt zuzuschreiben.

Was sollen uns hiernach die von der Darwinschen Partei der Naturforscher in jetziger Zeit behuf Darlegung der Stellung des Menschen in der Schöpfung mit so grossem Eifer zusammengetragenen Materialien, welche die Ähnlichkeit der Organe, insbesondere im Gehirne, zwischen Menschen und Affen nachweisen und zu dem Schlusse gelangen, dass der Organismus des Menschen von dem des Affen sich nur graduell unterscheide? Eine solche Ähnlichkeit ist natürlich und vermöge der allen animalischen Geschöpfen innewohnenden gleichen Grundkräfte sogar nothwendig; sie besteht auch nicht bloss zwischen Mensch und Affe, sondern zwischen Mensch und jedem Thiere; sie beweis't das Gemeinsame des Grundprinzipes in der Organisation der ganzen animalischen Welt und dieses Gemeinsame ist der Geist. Graduell aber ist und kann die in Rede stehende Ähnlichkeit nur sein, weil es sich dabei nur um räumlichen Formen, um die Anzahl von Windungen, um die Tiefe von Spalten oder Erhöhungen, um die Grösse von Winkeln u. dergl. handelt. Alle Eigenschaften, welche nicht messbar sind, der Stoffgehalt, die Neigungen, die geistigen Fähigkeiten s. u. w. bleiben in jenen Schriften gänzlich unerwähnt. Folgt nun etwa aus dem Umstande, dass zwischen zwei Geschöpfen die Formen sich nur graduell unterscheiden, da sich Formen gar nicht anders unterscheiden können, dass auch die Qualitäten sich nur graduell unterscheiden, dass also beide dieselbe Farbe, nur mehr oder weniger intensiv, besitzen, beide dieselben Nahrungsmittel, nur in grösseren oder geringeren Mengen zu sich nehmen, beide dieselben chemischen Stoffe sezerniren, beide dieselben Triebe, dieselben Verwandtschaften, dieselben Geistesrichtungen haben? Offenbar würde dieser Schluss ganz unlogisch sein. Während die Quanti-

ten sich quantitativ unterscheiden, differiren die Qualitäten qualitativ; ›erhaupt sind es bei allen Eigenschaften zweier Thiere nur die speellen Werthe dieser Eigenschaften, welche den Unterschied bedingen.

Auf dem Unterschiede dieser speziellen Werthe der Grundeigenschafı beruht aber einzig und allein der Unterschied der Systeme oder rten eines jeden Naturreiches: denn die Grundeigenschaften selbst ıd für das ganze Reich fest bestimmte Anlagen, oder für alle Genöpfe desselben Reiches die nämlichen, einer Variation überall cht fähig (vergl. §. 73). Affinität bleibt stets Affinität, Vegetation ets Vegetation, Geist stets Geist: ein Jedes ist ein absolutes, unwanlbares Grundprinzip der Welt, welches nur je nach den Umständen ıd zwar nach Maassgabe der Wechselwirkung mit der Mitwelt rschiedene spezielle Werthe annehmen und dadurch verschiedene Gehöpfarten zur Erscheinung bringen kann.

Jene Ähnlickeiten in der Organisation des Menschen und Affen beisen also nicht im entferntesten, dass Beide derselben Art oder auch r verwandten Arten angehören, oder dass sich das Menschengeschlecht Laufe der Zeit aus dem Affengeschlechte entwickelt habe. Die Beıhungen, eine solche allmähliche Entwicklung des Menschen aus dem fen durch ein sehr hohes Alter des Menschengeschlechtes wahrıeinlicher zu machen, sind ganz vergebens. Abgesehen davon, dass eses Alter häufig übertrieben hoch geschätzt wird (§. 73 No. 12), so ist Zeit und die Arbeit der Naturkräfte nicht das Mittel, die in diesen äften liegenden Grundprinzipien zu ändern. Wagt doch Niemand zunehmen, dass sich im Laufe der Zeit Kieselerde in Kalkerde verwanın könne! Diese Verwandlung wäre aber ein der Verwandlung einer ierart in eine andere ganz analoger Prozess.

Wenn wir einerseits die aus der Ähnlichkeit des Körperbaues zwiıen Mensch und Affe gezogenen Schlüsse der Darwinianer über die eichheit dieser beiden Geschöpfarten oder die Entwicklung der ersten der letzten verwerfen; so können wir andererseits aber auch nicht den ılüssen der Gegenpartei beitreten, welche aus den Verschiedenheiten ischen Mensch und Thier dem Menschen eine Ausnahmestellung in der tur in der Weise anweis't, dass sie den Menschen nicht bloss für eine ondere Thierart (was er wirklich ist), sondern für ein Geschöpf eines onderen Naturreiches ansieht. Wo wäre denn die besondere Grundaft, welche das Menschenreich vor dem Thierreiche voraus hätte? sser dem Geiste, welcher jedem Thiere zukömmt, besitzt der Mensch ne höhere Grundkraft: was ihn von jedem Thiere und von seinem benmenschen unterscheidet, ist nur der spezielle Werth der geistigen ıft.

Dass der Mensch vom Thiere in wichtigen Beziehungen durch eine sse Kluft getrennt ist, welche sich z. B. durch den aufrechten Gang, glatte Haut, die Sprache, die Kunstthätigkeit, die Ideenentwicklung lergl. ausspricht, erscheint nur auf den ersten Blick auffallend: denn was Grösse der Kluft betrifft; so giebt es innerhalb des Thierreiches uneitig noch viel grössere, z. B. zwischen dem Hunde und der Raupe: aber die Kluft an sich, nämlich den darin liegenden Sprung beft; so klingt es zwar paradox, ist aber wahr, dass sich alle Qualitä-

ten oder Arten in der Natur nicht durch stetige, sondern durch sprungweise Übergänge voneinander unterscheiden. Das alte philosophische Wort *natura non facit saltum*, welches sich auch Darwin in seinen Deduktionen zu nutz macht, findet nur Anwendung auf alle messbaren Grössen, also auf alle Raumgrössen, Zeitgrössen und Kräfte, nicht aber auf die unmessbaren Grössen oder Qualitäten. Wir haben schon in §. 73 No. 4 hervorgehoben, dass die Veränderungen der Qualität sich eben dadurch auszeichnen, dass sie mit den Veränderungen der messbaren Eigenschaften, durch welche sie bedingt sind, nicht in Proportion stehen. Wenn man die chemischen Elemente nach dem Verhältnisse ihres Gehaltes an Äther und Ponderabelem (worauf nach meiner Ansicht einzig und allein der Unterschied der Elementarstoffe beruht) ordnet; so bilden dieselben keine stetigen Übergänge, sondern lauter Sprünge: demnach repräsentiren auch alle übrigen Eigenschaften dieser Stoffe, ihr spezifisches Gewicht, ihre Farbe, ihr Klang u. s. w. keine stetige Reihe. Nicht jede beliebige Menge von Sauerstoff verbindet sich mit einer gegebenen Menge Eisen, sondern nur gewisse diskrete Mengen. Das nämliche Gesetz muss für das Pflanzen- und für das Thierreich gelten, und in der That bietet jedes dieser Reiche in seinen Individuen noch heute keineswegs das Bild stetig in einander übergehender, sondern isolirter, durch Klüfte oder Sprünge voneinander geschiedener Arten dar.

Diese letztere Thatsache der fortwährend sich aufrecht erhaltenden scharfen Trennung der Arten erscheint nach der Darwinschen Theorie als das grösste Räthsel. Denn diejenigen Kräfte, welche stark genug waren, um in einer gewissen Zeit Landbewohner in Luftbewohner und Wasserbewohner zu verwandeln, würden in derselben Zeit unmöglich scharfe Grenzen zwischen den Arten haben bestehen lassen können. Nach obigen Prinzipien erläutert sich aber diese Erscheinung auf eine sehr einfache, den Naturgesetzen entsprechende Weise, verstärkt also in hohem Grade die Argumentation, welche wir in §. 73 gegen die Darwinsche Theorie geführt haben.

Wir müssen noch hervorheben, dass die kluftweise Trennung der Arten nicht bloss in der Jetztwelt, sondern auch in der Vorwelt, zu allen Zeiten stattgefunden hat und dass noch von keinem Naturforscher, auch nicht von Darwin, ein wirklicher Übergang von einer Art in die andere durch Entwicklung nachgewiesen ist. Es ist überhaupt ein Kuriosum, die Verwandlung der Arten behaupten und die Beständigkeit derselben anerkennen zu sehen. Denn auf welche Materialien stützt sich die Beweisführung über die Verwandlung der Arten? Auf die Vergleichung des Knochengerüstes der fossilen Geschöpfe mit dem der lebenden. Nun bin ich noch in keinem Buche, und ich will vor allen Dingen das Werk von Darwin und die Vorlesungen von Vogt über den Menschen nennen, in denen sich zahllose zoologischen und anatomischen Vergleichungen finden, der mindesten Unsicherheit darüber begegnet, welcher Thierart ein vorgefundener Knochen angehöre. Die Funde der Tropfsteinhöhlen, die Kjökkenmöddinger, die Überreste der Pfahlbauten, die Einschlüsse der Diluvialgebilde und die Petrefakten aller geognostischen Gesteinsformationen werden mit der grössten Sicherheit

:tirt und wenn es sich auch nur um einen einzigen Knochen, um einen zigen Zahn, ja nur um ein Bruchstück davon handelt; so ist doch nicht · kleinste Zweifel vorhanden, ob dasselbe einem Bären oder einer äne oder einem Löwen oder einem Affen oder einem Menschen r einer anderen Thierart angehöre.

In dieser Sicherheit der Klassifizirung liegt meines Erachtens ein ewusstes aber laut redendes Anerkenntniss und zugleich ein faktiier Beweis von der Beständigkeit der Arten überhaupt und von Selbstständigkeit des Menschen im Besonderen.

Alle aus der Beobachtung, dieser von der neueren Naturforschung in respektirten Methode, sich ergebende Veränderung der Geschöpfe die innerhalb der Art verbleibende Variation, Entwicklung und passung, welche nicht das System, sondern die Ausführung r die Erscheinung des Systems betrifft und nach §. 73 durch das ma, die Nahrungsmittel, die Lebensweise und überhaupt durch die Einkung der Aussenwelt nothwendig hervorgebracht werden muss, indem theils in der Periode der Schöpfung verschiedenen Varietäten Dasein giebt und in der Periode des ferneren Erdenlebens diese rietäten weiter variirt (soweit die Kreuzung formverwandter Arten ht Mischarten hervorbringt, §. 73 No. 4 und 11).

11. Das Verhältniss des Thierreiches zur Welt. Wir haben uns Laufe dieser Schrift genugsam überzeugt, dass jede geistige Regung einen bestimmten materiellen Prozess gebunden ist. Dies ist das wendige Resultat davon, dass die geistige Kraft überhaupt die irgesetzliche Eigenschaft des animalischen Organismus oder die der animalischen, d. h. individuellen Organisirung der Materie sich altende Naturkraft ist (§. 73). Heisst Diess nun, wie der heutige Maiialismus allgemein annimmt, die Materie erzeuge den Geist, sie affe und vernichte ihn, ohne ihre eigenen wesentlichen Grundeigenften zu verändern, sie sei etwas Absolutes und Ewiges, der Geist als Produkt dagegen etwas Zufälliges und Zeitliches, ihre physischen Proe, wie z. B. die sensuellen Nervenströme und die materiellen Gehirninderungen stellen in ihrer chemisch-physikalischen Beschaffenheit die prechenden Geistesthätigkeiten dar, der Geist sei mithin den Gesetzen rein materiellen d. h. der anorganischen Natur unterworfen, sodass iheit oder Selbstbestimmung sich auf ausschliesslich physikalischen ng reduzire und die Gedanken nach physischen Gesetzen wie Sekrete Gehirnes ausgeschieden werden?

Es kann keine befangenere und widerspruchsvollere Auslegung der irgesetze geben, als diese. Wenn die Materialisten annehmen, und n haben sie Recht, dass im eigentlichen Sinne des Wortes Nichts geaffen, d. h. ohne nothwendige Folge vorhergehender Zustände aus Nichts hervorgezaubert werde, und wenn sie einräumen, dass Materie t ohne Kraft und Kraft nicht ohne Materie bestehen kann, dass also erie und Kraft zwei zwar verschiedene, aber nothwendig sich begende und gleichberechtigte Dinge sind; so werden sie zugeben sen, dass von einer eigentlichen Schaffung der geistigen Kraft animalischen Organismus keine Rede sein kann: Geist muss wie Gra-

vitation, Kosmetismus, Affinität und Vegetation aller Materie von Ewigkeit her als Uranlage schon inhäriren, sonst könnte er niemals zur Erscheinung kommen. Es kann sich also nur um die Entfaltung des Geistes handeln und Diess geschieht eben beim Zusammentreten der Materie zum animalischen Organismus. Ehe nicht der Äther mit dem Ponderabelen zu chemischen Elementen zusammentritt, ist auch die Affinität nicht entfaltet, und ehe nicht die befreundeten Mineralien in der Zellenform zusammentreten, ist auch die Vegetationskraft nicht entfaltet (§. 73).

Wenn nun zwei Dinge wie Materie und Kraft, wie Organismus und Geist einander gegenseitig bedingen, wie ist es möglich, dem einen den Vorzug der Urheberschaft für den anderen zuzuschreiben! Die Affinität kann sich nicht äussern, also nicht den besonderen Körper Kali von spezifischer Krystallform, Farbe, Geschmack, chemischer Verwandtschaft und sonstigen Eigenschaften bilden, wennnicht Sauerstoff und Kalium in bestimmten Mengenverhältnissen zusammentreten; denn ein isolirtes Sauerstoffatom kann offenbar keine Affinität bethätigen. Diess ist sehr richtig: aber ebenso richtig ist auch, dass Sauerstoff und Kalium nur desshalb sich verbinden, weil die Affinität als Anlage in ihnen vorhanden ist. Die Verbindung, das System, hat also die Bethätigung der Affinität zur Folge, umgekehrt hat aber auch die als Anlage vorhandene Affinität die Entstehung der Verbindung oder des Systems zur Folge.

Ganz ebenso entfaltet sich der Geist durch den animalischen Organismus: allein ebenso gewiss bildet sich dieser Organismus nur durch den Geist, d. h. vermöge des Vorhandenseins der geistigen Kraft als Uranlage der Materie. Man sieht, die Ausdrucksweise ist nicht ganz passend; von Beiden spielt keiner die Rolle des Erzeugers und keiner die des Erzeugten. Weder erzeugt der Organismus den Geist, noch der Geist den Organismus, sondern Beide bedingen sich einander oder erzeugen sich einander.

Offenbar können sich bei der Thätigkeit eines Wesens keine anderen Kräfte äussern, als welche dem Wesen inhäriren; aber es ist auch klar, dass sich bei jeder Thätigkeit dieses Wesens sämmtliche Kräfte äussern müssen, welche ihm inhäriren (wenn auch die einen intensiver als die anderen), weil eine Änderung jenes Wesens mit einer Änderung seiner Kräfte gleichbedeutend ist. Es giebt keinen anorganischen Prozess, wobei nicht Affinität, Gravitation, Wärme, Licht u. s. w. gleichzeitig eine Rolle spielten, keinen vegetabilischen Prozess, wobei nicht ausserdem die Vegetation sich geltend machte, aber auch keinen animalisch-organischen, wobei nicht der Geist betheiligt wäre. Demzufolge existirt im animalischen Organismus überall kein rein physikalischer, kein rein chemischer, auch kein rein vegetabilischer Prozess, sondern jeder Prozess ist eine materiell-geistige, d. h. eine vom Geiste beherrschte materielle Thätigkeit.

Mit derselben Entschiedenheit, mit welchem wir dem neuen Materialismus entgegentreten, begegnen wir auch dem alten Spiritualismus, welcher den Geist vom Körper trennt und als ein für sich bestehendes Wesen ansieht. Wie Kraft nicht ohne Materie, so kann auch Geist nicht ohne individuellen oder persönlichen Organismus bestehen: Beide entstehen, bestehen und vergehen zusammen.

Mit diesen Worten treten wir in den Tempel ein, welcher die Heilig-ıümer der Menschheit umschliesst: Gott und Unsterblichkeit. Wollen ir dieselben mit frevelnder Hand antasten? O nein, wir wollen sie hützen gegen den Unglauben und gegen den Aberglauben.

Dass es Höheres giebt als animalische Organisation und dass die ntfaltung zu immer höheren Qualitäten endlos ist, muss der Naturfor-her nothwendig aus der unter ihm liegenden Stufenleiter von Naturrei-ıen, dem Urreiche, dem Mineralreiche, dem Pflanzenreiche und dem hierreiche und aus der Wahrnehmung schliessen, dass Alles, was er zu forschen sich bemüht, sich ihm als unendlich zeigt. Das absolut öchste ist Gott. Zu der Überzeugung vom Dasein Gottes muss meines rachtens jeder unbefangene Forscher kommen: allein der Supernaturalist ill mehr, er will Gott erkennen und beschreiben. Diess ist offenbar cht bloss eine Unmöglichkeit, sondern vom Standpunkte der Naturfor-hung aus eine Absurdität. Denn wie sich das Pflanzenreich vom Mine-lreiche und das Thierreich vom Pflanzenreiche durch Qualitäten unter-heidet, welche nicht bloss dem Grade, sondern dem spezifischen esen nach höher sind, ebenso müssen sich die über dem Thierreiche ehenden Reiche durch Kräfte davon unterscheiden, welche ihrem spezi-schen Wesen nach höher sind als der Geist. Denken und em-inden, sowie individuelle Organisation oder Persönlichkeit sind ezifische Eigenschaften des Thierreiches, nicht aber die wesentlichen genschaften eines höheren Reiches, folglich auch nicht die wesentli-en Eigenschaften Gottes. Der persönliche, allweise, allliebende, lmächtige, allgegenwärtige Gott der Supernaturalisten ist daher r kein Gott, sondern ein vollkommener Mensch. Der wahre Gott ist ı unendlich höheres Wesen, dessen Eigenschaften nicht von den mensch-lhen zu abstrahiren, also auch nicht mit den menschlichen zu erkennen d zu vergleichen, welche mithin absolut unbegreifbar und unnenn-r sind. Wir müssen uns darauf beschränken, Gott für das vollkom-nste Wesen zu halten, und schlechterdings darauf verzichten, diese Voll-mmenheit zu spezialisiren. Nur was unmittelbar und allgemein aus dem griffe höchster Vollkommenheit fliesst, dürfen wir darüber aussagen. erzu gehört meines Erachtens die Ausschliesslichkeit der Existenz: sser Gott kann nichts Anderes sein; Gott ist die Welt.

Indem wir Gott und Welt für identisch halten, schreiben wir Gott hl Materialität zu? Allerdings; ohne Materie keine Kraft, ohne Welt in Gott: allein wir müssen doch erinnern, dass wir hier den Begriff der elt nicht in der gewöhnlichen Bedeutung der Naturwissenschaften, mlich nicht als das Körperliche oder Stoffliche im Universum, ıdern als den Inbegriff alles Bestehenden, folglich als das ırperliche mit Einschluss aller seiner Kräfte auffassen. Für nand, der unter der Welt nur das Materielle, unter dem Menschen r seinen Leib verstehen will, muss man sich anders ausdrücken und gen: gleichwie der Geist die Kraft des Menschen ist, so ist Gott die aft der Welt.

Wenn Gott die Welt ist, stellt jeder Mensch, jedes Geschöpf, einen ıeil Gottes dar. Diess klingt anmaassend, jedoch nur bei oberflächli-er Betrachtung: denn die Gemeinschaft in einer so niedrigen Kraft, wie

der geistigen Kraft, ist weit entfernt, eine Gemeinschaft in den höheren Kräften, also überhaupt Gleichartigkeit mit dem höheren Wesen einzuschliessen.

Diese Gemeinschaft des Menschen mit Gott ist nichts Anderes, als eine Uranlage zur Entfaltung höherer Fähigkeiten oder zur Annäherung an das Wesen Gottes. Sie ist zu vergleichen der Uranlage des Mineralatoms, durch den Eintritt in die Pflanzenzelle die höhere Vegetationskraft zu entfalten, eine Anlage, welche sich als Assimilationsfähigkeit ausspricht; sie ist zu vergleichen der Uranlage der Zelle, durch den Eintritt in den animalischen Organismus die höhere geistige Kraft zu entfalten.

Eine solche Assimilation durch ein höheres Naturreich, wodurch Kräfte entfaltet werden, welche über dem Geiste stehen, tritt mit dem Tode ein. Der Tod ist zu diesem Zwecke nothwendig: denn er ist in allen Naturreichen die Vorbedingung zur höheren Entfaltung der Materie. Damit ein Mineralatom Zellenstoff werde, muss die Beziehung, welche zwischen seinen Bestandtheilen besteht, also der Kosmetismus zwischen dem Äther und dem Ponderabelen seiner Elementarstoffe und die Affinität zwischen seinen chemischen Elementen eine Änderung erleiden, welche die Selbstständigkeit jenes Atoms aufhebt, also seinen Tod als Mineralatom bedingt: es wird kein Atom Eisen oder Kalkerde oder Salz als selbstständiger, krystallisirter Körper in einer Zelle vorgefunden. Damit eine Zelle Bestandtheil eines animalischen Organismus werde oder den Geist entfalte, muss sie sich auflösen, ihre Selbstständigkeit verlieren oder sterben: es finden sich keine ganzen Zellen der genossenen Speisen in dem davon ernährten Organismus; ja es findet sich darin noch nicht einmal die Gesammtheit des Stoffes der assimilirten Zellen, sondern nur gewisse Extraktivstoffe, welche das Resultat der Zellenthätigkeit oder der Vegetation sind und welche die anorganische Chemie als besonders komplizirte Verbindungen nachweis't.

Wenn wir uns hier an die Analogie halten; so bedingt der Tod des animalischen Organismus zunächst das Erlöschen des Geistes als selbstständiger Kraft, zugleich aber die Entfaltung einer höheren Kraft, welche eben desshalb, weil sie eine höhere ist, von dem Geiste nicht erkannt, also überhaupt von Menschen nicht gedacht werden kann. Diese Entfaltung ist das Ergebniss der Assimilation des Menschen (und überhaupt des animalischen Geschöpfes) durch ein höheres Naturreich. Durch diesen Assimilationsprozess wird der Mensch nicht in seiner Integrität einem höheren Reiche einverleibt, ebenso wenig wie die Zelle in ihrer Integrität vom animalischen Organismus assimilirt wird; es kann also füglich seine irdische Asche den Würmern preisgegeben werden. Hieraus folgt durchaus nicht, dass der Geist beim Tode wie ein selbstständiges Wesen sich isoliren könne: das kann er nicht; Geist, wie jede Kraft, ist stets an Materie gebunden. Es folgt daraus auch nicht, dass der Geist eine Seelenwanderung antrete und in ein anderes höheres Geschöpf überspringe: das kann er ebenfalls nicht, weil der Sprung die unmögliche Lostrennung und Isolirung von der Materie involviren würde.

Wir scheinen uns in Widersprüche zu verwickeln, indem wir den eist an Materie binden, von Assimilation durch ein höheres Reich reden ıd doch den Leib von der Assimilation ausschliessen. Allein, wer sagt ıs denn, dass der Leib, d. h. der sinnenfällige Körper unseres Organismus, ır alleinige Sitz des animalischen Systems sei oder uns vollständig die aterie zeige, an welche unser Geist gebunden ist? Fassen wir, um die Sache ı verdeutlichen, den unbedeutendsten mit Kräften begabten Körper, z. B. n glühendes Stück Eisen ins Auge. Dieses Eisen ist der sichtbare Leib ler Kräfte, welche dieses System entwickelt: wir wissen aber aus §. 73, ıss jede Kraft nur in der Wechselwirkung mit der Aussenwelt einen ıstimmten Werth annimmt; die Thätigkeit jenes Systems setzt also die itthätigkeit der Aussenwelt voraus und hieraus folgt, dass der volländige materielle Träger der Kräfte jenes Systems nicht bloss der sonannte Leib des Systems, sondern zugleich die ganze Materie der elt ist. Durch die Thätigkeit oder das Leben jenes Leibes wird nicht oss dessen Materie, sondern auch die der Welt in einer nach Raum, ıit, Intensität und Art bestimmten, von der Individualität des Systems ıd seinem Verhalten abhängigen Weise affizirt und diese Affektion der ussenwelt ist ein ebenso wesentliches Stück für die Existenz jenes stems, wie die Thätigkeit seines Leibes selbst: denn jene Affektion der ıssenwelt macht diese Thätigkeit überhaupt erst möglich und ist als s eine von zwei in Wechselwirkung begriffenen Systemen von gleier Bedeutsamkeit wie das andere.

In der That gravitirt das glühende Stück Eisen auf die gesammte nderabele Materie der Sternenwelt in bestimmter Weise, sendet Lichtıd Wärmestrahlen durch die vom Äther erfüllten Räume dieser Welt, dingt dadurch Form- und Dichtigkeitsveränderungen, Bewegungen und römungen, bewirkt chemische Verbindungen und Trennungen, drückt so der Sternenwelt eine bestimmte Thätigkeit auf, welche ch mit dem Orte und der Zeit, die im Leben jenes glühenden sens verfliesst, ändert, aber eine dauernde Wirkung zurücksst, in welcher sich das Leben jenes Körpers darstellt. Wird s Stück Eisen vernichtet; so stellt zwar der eiserne Motor seine Aniffe auf die Aussenwelt ein: allein seine frühere Wirkung auf diese Welt ıibt als ein Zustand zurück, welcher die ferneren Veränderungen derben in Ewigkeit mitbedingt, also von dieser Welt assimilirt und ısterblich geworden ist.

Die wesentliche oder spezifische Einwirkung eines Körpers auf Aussenwelt hängt von der Qualität seiner höchsten Kräfte ab. Die spezifiıe Wirkung des Ponderabelen und des Äthers ist die Gravitation und r Kosmetismus, die des Minerals die Affinität, die der Zelle die Vegetation, des animalischen Organismus der Geist. Durch ein animalisches Wesen rd das Universum in Folge der Wechselwirkung zwischen Beiden nach n Gesetzen des Geistes erregt. Diese Erregung ist die Assimilation des istes durch das höhere Reich und ihre gesetzliche Einwirkung auf die ätigkeit dieses Reiches die Unsterblichkeit des Geistes. Der Geist lebt rnach nicht als Geist, sondern als Agens für eine uns unbekannte, aber here Thätigkeit fort. Dieser höheren Thätigkeit kann kein niedrigerer, ıdern nur ein höherer Grad der Vollkommenheit zukommen: da nun

in der Stufenleiter der uns bekannten Naturreiche die Individualisirung oder die Persönlichkeit oder das Selbstbewusstsein den obersten Rang einnimmt; so müssen wir schliessen, dass der Zustand nach dem Tode das, was wir Selbstbewusstsein nennen, in einer vollkommeneren Form enthält.

Fragt man aber nach dem Medium, welches sich als der spezifische materielle Träger der Wechselwirkung zwischen Geist und Aussenwelt darbietet; so sage ich, es ist — der Äther.

DIE

PHYSIOLOGISCHE OPTIK.

Druck und Papier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

DIE

PHYSIOLOGISCHE OPTIK.

EINE DARSTELLUNG

DER

GESETZE DES AUGES

UND DER

SINNESTHÄTIGKEITEN

ÜBERHAUPT.

VON

DR. HERMANN SCHEFFLER.

IN ZWEI THEILEN.

ERSTER THEIL.

MIT 228 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,

SCHULBUCHHANDLUNG.

1865.

VORREDE.

In diesem Buche lege ich dem Publikum die Ergebnisse meiner udien über das A u g e vor. Eine unscheinbare Veranlassung und ı spezieller Zweck nöthigten mich, mir durch eigene Nachforıungen Aufklärung über die physiologisch-optischen Gesetze zu chen, da ich dieselben nirgends genügend dargelegt fand. Wer nn aber diesem wunderbaren Organe nahen, ohne von seinen izen gefesselt zu werden! Aus der ersten flüchtigen Begrüssung tspann sich allmählich eine tiefe Neigung, ein langes Mühen, d die Liebesbriefe, welche emsig warben um den heimlichen hatz, häuften sich zu einem dicken Buche an.

Ihr seht es, meine Leser, das Buch ist nicht g e m a c h t wie ı architektonisches Bauwerk nach einem vorher in allen Theilen tigen, starren Plane; es ist e n t s t a n d e n, g e w a c h s e n wie ein um unter den Einflüssen des Bodens, der Luft und des Sonnenıeins. Es trägt die Spuren der Zeiten und der äusseren Impulse, lche während seines Entstehens an ihm vorübergingen — ein ganisches Gebilde mit individuellen freien Formen und natürhen Auswüchsen.

Die Gesetze des A u g e s waren der Hauptzweck; ich konnte nicht begründen, ohne eine kritische Theorie des L i c h t e s vorszuschicken. Der A u s d r u c k des Auges in verschiedenen Körrzuständen führte zu einer Betrachtung über das Wesen der ankheit und diese erforderte einen Blick auf die allgemeinen setze der O r g a n i s a t i o n und K ö r p e r b i l d u n g. Diese Geze lassen sich nicht entwickeln, ohne auf die K o n s t i t u t i o n r M a t e r i e und die G r u n d k r ä f t e der Natur einzugehen. Intten dieser Betrachtungen über die Grundlage der jetzigen eltordnung ist ein ruhigeres Temperament als das meinige er-

forderlich, um sich der Betheiligung an dem Kampfe zu enthalten, der sich zwischen dem Menschen und dem Affen entzündet hat.

Die Gesichtserscheinungen liefern dem Geiste ein Rohmaterial zu weiterer Bearbeitung. Das Wesen der Sinnesthätigkeit, auf welcher die Beschaffung dieses Materials beruht, gelangt erst durch die Vergleichung mit den Funktionen der übrigen Sinne zu gehöriger Klarheit, und diese Rücksicht diktirte die Paragraphen über das Gehör, das Gefühl, den Geschmack und den Geruch.

Jeder Sinneseindruck stellt eine Wechselwirkung zwischen dem Geiste und der Aussenwelt, eine Kombination von geistiger mit physischer Kraft dar. Ein solcher Wechselprozess kann nicht durch die Betrachtung des einen Faktors genügend aufgeklärt werden: es ist hierzu auch eine Würdigung des anderen nöthig. Ein nahe liegendes Bedürfniss rief daher die Betrachtungen über den Geist und die reinen Seelenthätigkeiten hervor. Zu Untersuchungen dieser Art hielt sich bislang nur die Philosophie für berechtigt: ich bin der Ansicht, dass reine Spekulation auf diesem Gebiete durchaus unfruchtbar ist und dass nur die Naturwissenschaft im Bunde mit der Reflexion Aussicht auf Erfolg hat. Indem ich diese Ansicht begründete und den Effekt der induktiven Methode durch eine Exkursion auf die Wirkung der Künste erläuterte, konnte ich nicht umhin, neben der direkten Anwendung auf unseren Gegenstand ein Streiflicht auf den heutigen Materialismus und den Supernaturalismus zu werfen und zugleich den beiden höchsten Ideen, welche die Menschenbrust bewegen, Gott und Unsterblichkeit, meinen Tribut zu zollen.

Wegen der näheren Details des behandelten Stoffes verweise ich auf das ziemlich ausführliche Inhaltsverzeichniss. Über den Werth des Buches steht mir kein Urtheil zu: ich kann nur darüber sagen, dass es im Wesentlichen neu und selbstständig und mit Liebe zur wissenschaftlichen Wahrheit bearbeitet ist.

Die Vielseitigkeit der sich darbietenden Berührungspunkte lässt mich hoffen, dass sehr verschiedene Klassen der menschlichen Gesellschaft ein Interesse daran finden werden. Während ich mir die Aufmerksamkeit des Physiologen und des Ophthalmologen im Speziellen und die des Naturforschers im Allgemeinen erbitte, glaube ich, dass auch der Physiker, der Optiker, der optische Mechaniker, der Architekt, der Maler, der Photographist, der Astronom, der Mediziner, der Che-

niker und der Philosoph das Buch nicht aus der Hand legen wird, ohne darin ein beachtenswerthes Resultat für seine Wissenschaft anzutreffen, dass ferner der Freund der Natur an der Erklärung eines ihrer schönsten Werke eine innere Befriedigung finden und dass endlich Jeder, welcher mit einem Augenfehler behaftet ist, also der Schielende, der Kurz- und Fernsichtige, der an fehlerhaftem Farbensinne Leidende, sowie Jeder, welcher sein Auge einer starken Anstrengung aussetzen oder zur Durchmusterung eines Bezirkes von kleinen Objekten gebrauchen muss, wie der Kupferstecher, der Holzschneider, der Mikroskopiker, aus der Erörterung der einschlagenden Hülfsmittel Nutzen ziehen wird.

Braunschweig, im März 1865.

H. Scheffler.

NACHTRAG.

Zu Theil I. §. 2.

14. Fluoreszenz. Auf Seite 40 bitte ich den zweiten Absatz durch folgenden zu ersetzen.

Die Art dieser möglichen Töne hängt von dem Systeme des schallenden Körpers ab. Eine an beiden Enden geschlossene oder offene Röhre, sowie eine gespannte Saite kann ausser dem Grundtone alle höheren Oktaven und gewisse Zwischentöne, eine nur an einem Ende offene Röhre kann jedoch keine Oktaven, sondern bloss gewisse Zwischentöne angeben.

Zu Theil I. §. 28.

8. Der Augenspiegel. Herr Dr. Carter zu Stroud hat mich darauf aufmerksam gemacht, dass die wirklichen Effekte, welche man in der Praxis mit Ruete's Augenspiegel erzielt, von denen abweichen, welche ich auf S. 410 beschrieben habe. In der That scheinen die von mir angenommenen Brennweiten und Stellungen der Linsen l und des Hohlspiegels s für die praktische Ophthalmologie nicht gut geeignet, da die Vergrösserung so bedeutend ausfällt, dass es dem optischen Bilde mn an Intensität mangeln würde und ausserdem dieses optische Bild mn so weit wegrückt, dass der Beobachter r sich zu weit von dem beobachteten Auge entfernen müsste.

Durch die von Ruete in seiner Ophthalmologie S. 368 ff. vorgeschlagenen Dimensionen erzeugt sich zwar ein viel kleineres, aber bedeutend intensiveres und bequemer gelegenes Bild von der Netzhautfläche ef. Ist nämlich in Fig. 202 a u. 203 a (a. f. S.) gh das durch die Diffusionsstrahlen der erleuchteten Netzhaut erzeugte verkehrte optische Bild der Fläche ef; so wird ein hinreichend starkes Konkavglas l (Fig. 202 a), dessen Brennweite also klein genug ist, ein virtuelles aufrechtes Bild mn rechts von der Linse erzeugen (während das auf S. 410 angenommene schwache Konkavglas ein wirkliches verkehrtes Bild links von der Linse entwirft). Ein Konvexglas l (Fig. 203 a), welches rechts von dem Bilde gh aufgestellt wird, entwirft ein wirkliches ver-

kehrtes Bild *mn*, welches kleiner ist, als das Bild *gh*, aber immer noch grösser, als die Netzhautfläche *ef* und welches, da es nahe an die Linse

Fig. 202 a.

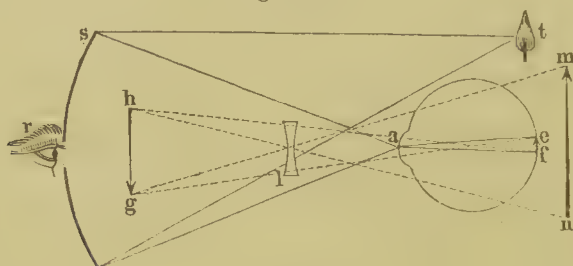
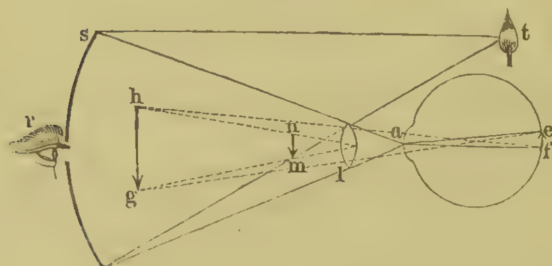


Fig. 203 a.



heranrückt, von *r* aus bequem betrachtet werden kann (während die Aufstellung der Linse links vom Bilde *gh* nach S. 410 ein wirkliches aufrechtes Bild links von der Linse hervorruft).

Was den äusseren Augapfel betrifft; so erscheint derselbe durch das Konkavglas stets aufrecht und verkleinert (wie auf S. 410); durch das Konvexglas jedoch, welches ihm jetzt so nahe gerückt ist, dass die Hornhaut innerhalb der Brennweite dieses Glases fällt, erscheint er aufrecht und vergrössert (wogegen die entferntere Stellung dieses Glases auf S. 410 eine Umkehrung und Vergrösserung des Augapfels hervorbringt).

Die Erscheinungen, welche sich ohne Anwendung einer Linse einstellen, entsprechen natürlich immer der auf S. 411 gegebenen Beschreibung.

Zu Theil I. §. 16, 21, 30, 31.

Elementare und freiwillige Akkommodation. — Stereoskopisches Sehen. Ich fühle mich veranlasst, die in §. 31 No. 20 ausgesprochene Ansicht mit besonderem Nachdrucke hervorzuheben. Hiernach ist die Gesammtakkommodation des Auges das Resultat der Elementarakkommodationen, welche die einzelnen Fasern des Sehnerven mit demjenigen Grade von Selbstständigkeit, welchen der organische Zusammenhang der Gewebe überhaupt zulässt, ausüben. Jede Nervenfaser regiert also selbstständig ihr Stäbchen und affizirt die brechenden Medien und die Pupille in Richtungen, deren Resultante

durch jenes Stäbchen und den Mittelpunkt des Auges geht. Demgemäss zieht jede Nervenfaser ihr Stäbchen vor oder zurück, d. h. sie verkürzt oder verlängert den ihr entsprechenden Augendurchmesser (§. 6 No. 4, §. 7 No. 6, §. 8 No. 24, §. 21 No. 8), sie verschiebt dieses Stäbchen seitwärts und richtet dasselbe in die Axe des Strahlenkegels und bewirkt dadurch eine Tendenz zur Veränderung des Konvergenzwinkels beider Augenaxen (§. 21 No. 8), sie nöthigt die Linse und den Glaskörper in der gedachten Affektionsrichtung zu entsprechenden Krümmungs- und Dichtigkeitsveränderungen (§. 31 No. 20). Alle diese Veränderungen haben den Zweck, das Lichtbündel auf dem Stäbchen zu konzentriren oder dieses Stäbchen zu akkommodiren. Durch Induktion sind diese verschiedenen Akkommodationsakte miteinander verbunden, dergestalt, dass der eine den anderen nach sich zieht (§. 7 No. 5, §. 8 No. 23). Der Lichtreiz, welcher sich in dem Zerstreuungskreise des noch nicht konzentrirten Strahlenkegels auf die Nervenfasern in einem Auge äussert (§. 16 No. 9), nöthigt direkt das betreffende mittlere Stäbchen zur Akkommodation und diese zieht induktorisch eine entsprechende Konvergenzveränderung beider Augenaxen nach sich. Beim Sehen mit beiden Augen bewirkt die gleiche Affektion differenter Nervenfasern unmittelbar die Konvergenzveränderung und mit der Letzteren, ja mit der blossen Tendenz dazu ist immer induktorisch eine entsprechende Akkommodationsbewegung der betreffenden Stäbchen und brechenden Medien verbunden (§. 12 No. 8, §. 24 No. 8).

Ausser diesem objektiven Lichtreize ist aber auch der Wille im Stande, einen gewissen Einfluss auf jeden einzelnen Akkommodations- oder Konvergenzakt auszuüben, was ein induktorisches Nachfolgen der übrigen korrespondirenden Akte zur Folge hat. Diess ist in §. 30 für die Gesammtthätigkeit des Auges ausgesprochen; ich behaupte diesen Einfluss des Willens aber auch für jede einzelne Nervenfaser. Ausser dem Willen sind noch andere unbewusste subjektive Reize fähig, die Nervenfasern zu dieser Thätigkeit zu veranlassen; namentlich wirkt das Verständniss eines Objektes vermittelst der Phantasie in dieser Weise (§. 25 No. 5) und mit der Reproduktion einer Gesichtsvorstellung sei es freiwillig durch die Phantasie oder unfreiwillig durch Induktionsreize, wie im Traume und in der Erinnerung, ist ebenfalls eine entsprechende Akkommodation der betreffenden Nervenfasern verbunden (§. 9 No. 7).

Jede Akkommodationsänderung bewirkt nun endlich eine Veränderung der scheinbaren Entfernung des Objektes (§. 16 No. 8, §. 24 No. 2 bis 7 und No. 17), wenn auch die letztere, da sie nicht prinzipiell von der Akkommodation, sondern von der Konvergenz des Strahlenkegels abhängt (§. 16 No. 7), nicht immer ganz so bedeutend ist, als sie bei normaler Akkommodation sein würde (§. 24 No. 4).

Aus Vorstehendem wird klar, wie ein mit einem Auge betrachtetes perspektivisches Bild stereoskopisch erscheinen kann. Hier ist Verständniss des Bildes die wesentliche Triebfeder (§. 25 No. 5). Indem die Stäbchen vor- oder zurückrücken und die brechenden Medien sich anders wölben und verdichten, ändern sich die scheinbaren Ent-

fernungen der einzelnen Objektpunkte. Der aus dem Verständnisse des Bildes entspringende subjektive Reiz, welcher solange keine Befriedigung findet, als die Erscheinung des Bildes mit der subjektiven Vorstellung nicht übereinstimmt, variirt die Akkommodation der einzelnen Nervenfasern solange, bis diese Übereinstimmung und Befriedigung erfolgt.

In ähnlicher Weise erklärt sich der noch viel vollkommenere stereoskopische Eindruck, welchen die Betrachtung zweier stereoskopischen Bilder gewährt (§. 16 No. 2, 3, 5, §. 24 No. 8). Hier findet nicht bloss die eben beschriebene Wirkung perspektivischer Bilder statt, sondern die unvermeidliche Affektion differenter Nervenfasern enthält einen objektiven, also relativ starken Reiz zur Verschiebung der betreffenden Stäbchen oder zur Konvergenz der Augenaxen, woraus eine erhöhte Akkommodationsthätigkeit der betreffenden Nervenfasern, also eine mit der wirklichen besser übereinstimmende scheinbare Entfernung der einzelnen Objektpunkte entspringt.

Berichtigung.

In Theil I. Seite 38 Zeile 17 von unten, statt Feldspath lies Flussspath.

